

تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر پایداری کشاورزی در استان مازندران

عبداله درزی نفت‌چالی^{1*}، مینا مالدار بادلی²، میرخالق ضیایبار احمدی³ و فاطمه کاراندیش⁴

تاریخ دریافت: 1394/8/17 تاریخ پذیرش: 1394/12/19

چکیده

برنامه‌ریزی برای توسعه هر منطقه، مستلزم آگاهی از پارامترهای اقلیمی و تطابق با تغییر اقلیم در آینده می‌باشد. این امر به‌ویژه در استان مازندران که اقتصاد آن به طور عمده متکی بر تولیدات کشاورزی است، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. در این تحقیق، تغییرات دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی، تابش خورشیدی و تعداد روزهای داغ و یخبندان شهرستان قایم‌شهر در استان مازندران تا سال 2100 پیش‌بینی شد و اثرات محتمل این تغییرات بر کشاورزی منطقه بحث گردید. پیش‌بینی‌ها با استفاده از مدل گردش عمومی HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 با به کارگیری مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG انجام شد. ارزیابی قابلیت این مدل با استفاده از آماره‌های راندمان مدل، ضریب تعیین، جذر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق، نشان‌دهنده‌ی کارایی قابل قبول آن برای شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده در منطقه مورد مطالعه بود. پیش‌بینی‌ها نشان داد که میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه در ماه‌های گرم بیش‌تر از مقدار آنها در ماه‌های سرد افزایش خواهد یافت. میزان افزایش دمای حداقل بیش‌تر از افزایش دمای حداکثر بود. میانگین افزایش دمای حداقل برای کلیه سناریوها و دوره‌های آتی برابر 1/65 درجه سانتی‌گراد بود در حالی که این مقدار برای دمای حداکثر برابر 1/31 درجه سانتی‌گراد بود. مقدار بارندگی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، اکتبر و نوامبر نسبت به دوره پایه افزایش و در سایر ماه‌ها کاهش خواهد یافت. هم‌چنین، میزان تابش خورشیدی در کلیه سناریوها روند کاهشی خواهد داشت. به‌طور متوسط، در دوره 2011 تا 2100، مقدار تبخیر - تعرق پتانسیل در سناریوهای B1، A1B و A2 به ترتیب به میزان 8/24، 10/47 و 12/68 درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بر اساس نتایج، برقراری شرایط کشاورزی پایدار در منطقه در شرایط تغییر اقلیم، مستلزم تغییر تقویم و الگوی کشت و بهبود عملیات‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر - تعرق، تقویم کشت، دماهای کاردینال، محصولات زراعی، LARS-WG

مقدمه

کشاورزی ایران می‌باشد به‌طوری که سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی آن بیش از 600 هزار هکتار است. تولید به‌ترتیب 37، 38/55، 90 و 27/1 درصد برنج، مرکبات، کیوی و دانه‌های روغنی کشور و غیره به‌همراه اشتغال حدود 19/2 درصد نیروی کار استان به کشاورزی، اهمیت و جایگاه کشاورزی در استان مازندران را نمایان می‌نماید (سازمان جهاد کشاورزی مازندران، 1391).

با توجه به نقش مهم بخش کشاورزی در مصرف آب و معاش مردم استان مازندران، بررسی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر وضعیت کشاورزی این استان از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. امنیت آب و مواد غذایی، اساسی‌ترین چالش‌های پیش‌رو می‌باشند که هر دو در برابر تغییرات مداوم الگوهای اقلیمی آسیب‌پذیر هستند (Misra., 2014). برخی از ارزیابی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تغییر اقلیم بر کشاورزی و در نتیجه رفاه انسان‌ها اثرات منفی متعددی به‌جای خواهد گذاشت (IFPRI., 2009). به‌طور خلاصه، تغییر اقلیم ممکن است سبب کاهش عملکرد محصولات، افزایش قیمت محصولات

استان مازندران با حدود 1/5 درصد از مساحت ایران، حدود 4/09 درصد جمعیت کشور را در خود جای داده است (سازمان جهاد کشاورزی مازندران، 1391). این استان با توجه به موقعیت خاص اقلیمی، تنوع آب و هوایی و برخورداری از باران سالانه و پراکندگی مناسب و دشت‌های وسیع در قسمت جلگه‌ای، از مناطق حاصلخیز

- 1- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - 2- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - 3- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - 4- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه زابل
- (* - نویسنده مسئول: (Email: abduallahdarzi@yahoo.com)

محتمل تغییر اقلیم بر کشاورزی استان مازندران و راهکارهای تطابق با آن، انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

داده‌های آب و هوایی یک دوره‌ی سی ساله (2010-1981) شامل مقادیر روزانه‌ی بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش از ایستگاه هواشناسی قراخیل واقع در استان مازندران تهیه شد. این ایستگاه در شهرستان قائم‌شهر در عرض جغرافیایی 36 درجه و 27 دقیقه و طول جغرافیایی 52 درجه و 46 دقیقه قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا 14/7 متر می‌باشد. متوسط طولانی‌مدت بارندگی، تبخیر، دما و رطوبت نسبی ثبت شده در ایستگاه قراخیل به ترتیب 730 میلی-متر، 1015 میلی‌متر، 79 درصد و 16/9 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در طول سال‌های 1359 تا 1389، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار دمای ثبت شده به ترتیب 6- و 43 درجه سانتی‌گراد بود و کم‌ترین بارش ماهانه در خرداد ماه (با متوسط 25/2 میلی‌متر) و بیش‌ترین مقدار آن با متوسط 92/9 میلی‌متر در مهر ماه رخ داده است.

از داده‌های هواشناسی دوره پایه (2010-1981) برای پیش‌بینی وضعیت اقلیم آتی تا سال 2100، طی سه دوره سی ساله 2040-2011 (دوره ابتدایی)، 2070-2041 (دوره میانی) و 2100-2071 (دوره پایانی) استفاده شد. برای این منظور، از مدل مولد داده‌های هواشناسی LARS-WG استفاده شد.

مدل LARS-WG

مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد (Reddy et al., 2014) که برای تولید مقادیر بارش، تابش و دماهای حداقل و حداکثر روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. اولین نسخه‌ی این مدل در سال 1990 به‌عنوان ابزاری برای ریزمقیاس‌نمایی آماری در کشور مجارستان ابداع شد (حقوق طلب و همکاران، 1392). مدل LARS-WG از توزیع‌های نیمه تجربی برای شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی استفاده می‌کند. این روش شامل دو فرایند آنالیز محلی (واسنجی) و تولید سناریو می‌باشد. داده‌های ورودی این مدل، شامل مشخصات ایستگاه (نام، موقعیت مکانی و ارتفاع از سطح دریا) و هم-چنین سری فایل‌های داده‌های هواشناسی روزانه مشاهده‌ای، در دوره‌ی پایه می‌باشد.

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی، ورودی اصلی مدل‌های اقلیمی می‌باشند اما با توجه به عدم امکان تعیین دقیق میزان انتشار این گازها، سناریوهای مختلفی به نام سناریوهای انتشار که دربرگیرنده‌ی مولفه‌هایی است که تغییرات گازهای گلخانه‌ای

زراعی و گوشت و کاهش مصرف غلات و در نتیجه مشکلات ناشی از کمبود مواد غذایی در کودکان و بزرگسالان شود. تغییر مولفه‌های اقلیمی نظیر بارش، دما، فراوانی و شدت رخدادهای جدی مانند خشکسالی، سیلاب و طوفان‌ها به طرق مختلفی بر رشد و تولید محصولات کشاورزی تاثیر می‌گذارد (Adams et al., 1998). تغییرات زمانی و مکانی الگوی بارش به‌طور مستقیم بر میزان آب تجدیدپذیر و چرخه آبی گیاه موثر بوده و ممکن است منجر به تنش آبی و اثرات منفی بر رشد گیاه شود (Tao and Zhang., 2010).

رشد روزافزون جمعیت، نیاز به تولید غذا و احتمال کاهش منابع آبی در نتیجه‌ی خشکسالی‌های ناشی از تغییر اقلیم سبب شد تا طی سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در زمینه‌ی بررسی تاثیر این پدیده بر میزان تغییرات پارامترهای مهم اقلیمی صورت گیرد. گرمایش جهانی باعث افزایش دماهای کاردینال در بسیاری از نقاط دنیا هم‌چون حوضه‌ی روخانه‌ی گومهو در کره (Nkomozepe and Chung., 2014)، خاورمیانه و آفریقای شمالی تحت سناریوی A1B (Terink et al., 2013)، چین (Ma et al., 2015) و سودان (Chen et al., 2013) شد. در کشور ایران نیز، افزایش دما و بارش در منطقه گلستان تحت سناریوهای A2 و A1B (دوستی و همکاران، 1392) و کاهش بارش و افزایش دما در تهران تحت سناریوی A1 (حقوق طلب و همکاران، 1392) گزارش شد. در برخی از این پژوهش‌ها، کارایی بالاتر مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دمای هوا در شرایط وقوع تغییر اقلیم در دوره‌های آتی در مقایسه با مقادیر بارش گزارش شد (Reddy et al., 2014). عباسی و همکاران (1389)، در مطالعه‌ای با استفاده از مدل LARS-WG گزارش کردند میزان بارندگی تحت سناریوی A1 در استان خراسان جنوبی طی دوره 2010 تا 2039 چهار درصد افزایش خواهد یافت. نتایج باباییان و نجفی‌نیک (1385)، بیانگر قابلیت بالای مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی و هم‌چنین استفاده از آن برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی است. خزانه‌داری و عباسی (1388) با استفاده از مدل LARS-WG نشان دادند که خشکسالی‌های ایران طی دهه‌ی 2025 افزایش خواهد یافت.

به دلیل وابستگی اقتصاد استان مازندران به تولیدات کشاورزی و با توجه به تاثیر اقتصادی و اجتماعی تغییر اقلیم بر جوامع، آگاهی از چگونگی بروز این تغییرات در برنامه‌ریزی‌های محیطی بسیار موثر خواهد بود. در عموم تحقیقات داخلی و خارجی مرتبط که تاکنون انجام شده است، تنها روند تغییر اقلیم مورد بحث قرار گرفت. با این وجود، از منظر کشاورزی، هدف اساسی از پیش‌بینی تغییرات متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی، یافتن راه حلی برای تطابق الگوهای کشت و عملیات‌های مختلف زراعی با تغییر اقلیم می‌باشد. از این‌رو، این مطالعه به‌منظور پیش‌بینی روند تغییر متغیرهای اقلیمی اثرگذار بر کشاورزی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی و بررسی اثرات

تکنولوژیکی کند می‌باشد. در سناریوی B1 (بدبینانه‌ترین سناریو)، تغییرات سریع ساختارهای اقتصادی، رشد کند جمعیت و معرفی تکنولوژی‌های پاک و کارآمد از نظر منابع مطرح است. در سناریوی A1B تاکید متعادلی بر کلیه منابع انرژی می‌شود. برخی مشخصات سناریوهای مورد استفاده در جدول 1 ارائه شده است.

مختلف در آینده را برآورد می‌کنند، ارائه شد (عباسی و همکاران، 1389). در این تحقیق، داده‌های هواشناسی دوره‌های آبی تحت سناریوهای A2، B1 و A1B با استفاده از مدل HADCM3 تولید شد. این مدل از مدل‌های پیوسته گردش عمومی جو - اقیانوس می - باشد (Hassan and Harun, 2013). سناریوی A2 (خوش‌بینانه‌ترین سناریو) مبین توسعه اقتصادی منطقه‌ای، رشد زیاد جمعیت و تغییرات

جدول 1- خلاصه‌ای از مشخصات سناریوهای انتخابی (IPCC, 2000)

سناریو	مشخصات
A1B	بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و کاهش روند افزایش جمعیت پس از آن، رشد سریع فناوری‌های نوین و موثر در دوره آینده. غلظت دی‌اکسید کربن حدود 15 گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین 1/7 تا 4/4 درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.
A2	مبین رشد سریع جمعیت جهان و رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف. غلظت دی‌اکسید کربن حدود 30 گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین 2 تا 5/4 درجه سانتی‌گراد زیاد می‌شود.
B1	همگرایی جمعیت در سطح جهان در دهه‌های آینده، تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و موثر. غلظت دی‌اکسید کربن تفاوت چندانی نداشته و دما بین 1/1 تا 2/9 درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

ارزیابی مدل LARS-WG

فرآیند تولید داده‌ها در LARS-WG شامل سه بخش واسنجی، صحت‌سنجی و شبیه‌سازی می‌باشد. همانند بسیاری از مطالعات پیشین (Nkomozepi and Chung., 2014, Ma et al., 2015, Harmsen et al., Chen et al., 2013, Terink et al., 2013) برای انجام دو مرحله‌ی اول، آمار 30 ساله تابش، دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در ایستگاه قراخیل وارد مدل شده و با مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بر اساس معیارهای ارزیابی، صحت مدل در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بررسی کفایت مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی پارامترهای مورد نظر با استفاده از ضریب احتمال آزمون t براساس انحراف پارامترهای آماری داده‌های مشاهده‌ای دوره پایه از طریق تابع Site Analysis انجام شد. عملکرد مدل بر اساس داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با استفاده از آماره‌های راندمان (EF) (Nash and Sutcliffe, 1970)، درصد خطا (PE)، ضریب تعیین (R^2)، خطای معیار (SE) یا جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (Wang et al., 2006) و میانگین انحراف (AD) یا میانگین خطای مطلق (Legates and McCabe., 1999) ارزیابی شد. این آماره‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$EF = \frac{\sum_1^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_1^n (P_i - O_i)^2}{\sum_1^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

$$PE = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - \sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100 \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}))^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (3)$$

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (4)$$

$$AD = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (5)$$

که در آن‌ها؛ O_i و P_i به ترتیب مقدار مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده در زمان t ، n تعداد مشاهده‌ها، \bar{O} متوسط مقادیر مشاهده‌ای و \bar{P} متوسط مقادیر پیش‌بینی شده در طول دوره زمانی است. بهترین مقدار EF و R^2 برابر یک و برای PE، SE و AD برابر صفر است.

نتایج و بحث

مقادیر ضرایب احتمال آزمون t مدل برای سناریوهای مختلف، مبین عدم اختلاف معنی‌دار مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای پارامترهای حداقل دما، حداکثر دما، بارش و تابش در سطح احتمال 5 درصد بود (داده‌ها ارائه نشد). در جدول 2، میانگین مقادیر مشاهده‌ای

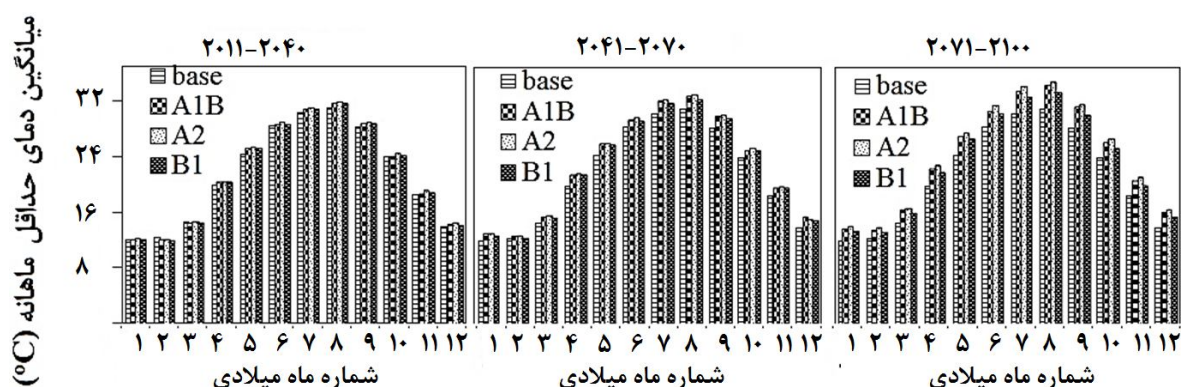
در دوره‌های میانی و پایانی در سناریوی A2 رخ داد. دمای حداقل ماهانه در طول دوره‌های آبی در کلیه سناریوها نسبت به دوره قبلی افزایش یافت. تنها استثنا در این مورد تحت سناریوی A1B رخ داد که در آن، حداقل دماهای ماه‌های آوریل، ژولای، اگوست و سپتامبر در دوره میانی نسبت به دوره ابتدایی کاهش یافت که دلیل آن احتمالاً به ماهیت این سناریو مرتبط است. میزان افزایش دمای حداقل در سناریوی B1 کم‌تر از دو سناریوی دیگر بود. در غالب موارد، میزان افزایش دمای حداقل در ماه‌های گرم سال بیش‌تر از مقدار آن در ماه‌های سرد بود. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار افزایش میانگین دمای حداقل ماهانه برابر 0/06 و 4 درجه سانتی‌گراد بود که به‌ترتیب در سناریوهای B1 (در دوره ابتدایی) و A2 (در دوره پایانی) مشاهده شد. افزایش دمای حداقل ماه‌های آوریل و می، که به‌عنوان زمان شروع فصل کشت برنج در منطقه مورد مطالعه است، در دوره‌های آبی بین 0/61 تا 2/1 درجه سانتی‌گراد در سناریوهای مختلف بود. تحقیقات مختلف نشان داد که هم‌بستگی بسیار نزدیکی بین دمای حداقل و عملکرد برنج (Peng et al., 2004) و گندم (Lobell and Ortiz-Monasterio., 2007) وجود دارد. 441 تا 859 کیلوگرم در هکتار کاهش عملکرد برنج به ازای هر درجه افزایش دمای حداقل در بخشی از هند گزارش شد (Rao et al., 2014). در تحقیقی (Nagarajan et al., 2010) نشان داده شد که دماهای شبانه بیش از 22 درجه سانتی‌گراد، بر عملکرد و کیفیت برنج تأثیر منفی دارد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در کلیه سناریوها، میانگین حداقل دمای ماهانه ژولای برای دوره‌های آبی بیش‌تر از 22 درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بر این اساس و در صورت اعتماد به نتایج پیش‌بینی‌های مدل LARS-WG، کشت زود هنگام برنج در اوایل بهار می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای کاهش اثرات منفی دماهای حداقل بر عملکرد برنج مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر، با فرض اینکه حداقل دمای مورد نیاز برای سبز شدن برنج 10 درجه سانتی‌گراد باشد (Gao et al., 1992) و با توجه به حداقل دمای پیش‌بینی شده برای ماه آوریل در کلیه سناریوها و دوره‌های مختلف (بین 11/4 تا 13/8 درجه سانتی‌گراد)، می‌توان در ماه مارس نشاهای برنج را در خزانه تهیه نمود و در اوایل بهار اقدام به کشت آن در مزرعه نمود.

و پیش‌بینی شده متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش و همچنین مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل LARS-WG برای این متغیرها ارایه شد. کم‌ترین و بیش‌ترین اختلاف بین میانگین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به‌ترتیب مربوط به دمای حداقل و بارندگی بود. کم‌ترین مقدار ضریب تعیین برای بارش (0/96) و بیش‌ترین مقدار آن برای دمای حداقل (0/999) به‌دست آمد. راندمان مدل در پیش‌بینی کلیه متغیرها، رضایت‌بخش بود (بیش از 90 درصد). از نظر کلیه شاخص‌های ارزیابی، دقت مدل برای پیش‌بینی دمای حداقل بیش‌تر از سایر متغیرها و دقت پیش‌بینی بارندگی تقریباً کم‌تر از سایر متغیرها بود. در تحقیقی (Hassan et al., 2014) مقادیر جذر میانگین مربعات خطای مربوط به پیش‌بینی‌های مدل LARS-WG برای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی در منطقه‌ای از مالزی به‌ترتیب 0/45، 0/72 و 111/7 گزارش شد. هم‌چنین، مقدار RMSE مدل LARS-WG برای پیش‌بینی دمای حداکثر و بارندگی در منطقه‌ای نیمه خشک به‌ترتیب در محدوده 0/26 تا 0/8 و 0/42 تا 1/7 گزارش شد (Reddy et al., 2014). هاشمی‌نسب خبیصی و همکاران (1392) با بررسی کارایی مدل LARS-WG برای پیش‌بینی بارندگی در ایستگاه‌های مختلف استان کرمان، محدوده تغییرات R^2 ، RMSE و AD را به‌ترتیب 0/908 تا 0/968، 1/54 تا 10/13 و 1/18 تا 7/07 گزارش کردند. خلیلی اقدم و همکاران (1391) نیز بر اساس شاخص‌های مختلف، کارایی مدل LARS-WG را برای پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی سنندج تأیید کردند. مقادیر آماره‌های مشاهده شده در این تحقیق برای دماهای حداقل و حداکثر، قابل مقایسه و برای بارندگی، کم‌تر و یا در محدوده مقادیر گزارش شده در تحقیق‌های مذکور بود. به‌طور کلی، مطلوب بودن مقادیر آماره‌های ارزیابی و عدم اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، موید کارایی مناسب این مدل برای شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

شکل 1 مقادیر متوسط حداقل دمای ماهانه پیش‌بینی شده تا سال 2100 را برای سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه نشان می‌دهد. تحت کلیه سناریوها، مقدار میانگین دمای حداقل ماهانه نسبت به مقدار متناظر دوره پایه افزایش یافت. بیش‌ترین افزایش در میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره ابتدایی تحت سناریوی A1B و

جدول 2- متوسط مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده متغیرهای مورد مطالعه و مقادیر آماره‌های ارزیابی

متغیر	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی شده	PE	EF	R ²	SE	AD
دمای حداقل	12/48	12/46	0/09	0/999	0/999	0/17	0/14
دمای حداکثر	21/5	21/3	0/82	0/998	0/998	0/32	0/26
بارش	59/7	62/1	-4/1	0/92	0/96	7/2	4/9
تابش	5/4	5/1	4/6	0/9	0/97	0/3	0/26



شکل 1- روند تغییرات میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره‌های آینده

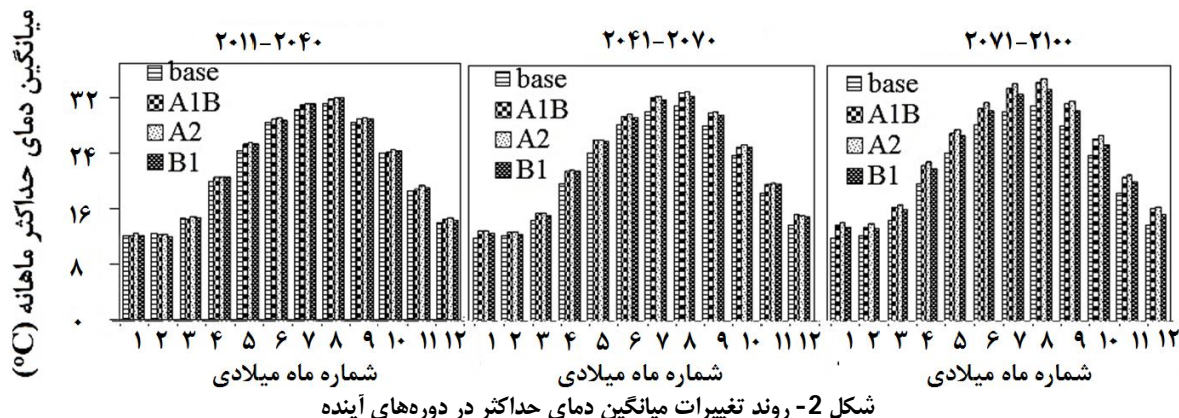
(Luo., 2011). حساس‌ترین مراحل رشد گیاه برنج به دماهای زیاد، به ترتیب مرحله خوشه‌دهی و حدود 9 روز قبل از خوشه‌دهی می‌باشد. در صورتی که در زمان خوشه‌دهی، دمای هوا به مدت بیش از دو - ساعت از 38 درجه سانتی‌گراد تجاوز کند، باروری سنبلچه‌ها از 90 درصد به 20 درصد کاهش خواهد یافت. همچنین، یک‌ساعت تداوم دمای 41 درجه سانتی‌گراد در این مرحله، سبب عقیمی کامل سنبلچه‌ها می‌شود (Yoshida., 1981). سایر محصولات زراعی و باغی نیز واکنش‌های مشابهی در برابر دماهای بسیار زیاد نشان خواهند داد. براساس نتایج یک تحقیق (Zhao et al., 2015)، دماهای حداکثر در ماه آگوست بر عملکرد ذرت بهاره در شمال چین تاثیر عمده‌ای داشت. دماهای بالاتر از 35 درجه سانتی‌گراد در مرحله گرده‌افشانی ذرت خطرناک می‌باشد (Luo, 2011). محدوده دمایی مناسب برای تشکیل و پر شدن دانه ذرت، 20 تا 24 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دماهای خیلی زیاد یا خیلی کم به‌ویژه در مراحل انتهایی رشد، سبب کاهش عملکرد آن خواهد شد (Zhao et al., 2015). حداکثر دمای قابل تحمل در مرحله پر شدن دانه گندم، 35/4 درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Porter and Gawith., 1999). اگر چه پیش‌بینی‌های مدل LARS-WG تحت سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که در دوره‌های آتی، بیش‌ترین مقدار میانگین دماهای حداکثر ماهانه کم‌تر از 35 درجه سانتی‌گراد خواهد بود، لکن به‌کارگیری روش‌های مناسب برای اجتناب از هم‌زمان شدن مراحل حساس رشد گیاهان با دماهای بسیار زیاد ضروری است. این امر مستلزم شناخت دقیق آستانه‌های دمایی مراحل مختلف رشد گیاهان در منطقه مطالعه می‌باشد تا متناسب با آن برنامه‌ریزی شود.

شکل 3 مقادیر میانگین بارش ماهانه در منطقه مطالعه را برای دوره‌های آتی نشان می‌دهد. مقدار افزایش یا کاهش بارندگی ماهانه در دوره‌های آینده به‌جز در برخی موارد محدود، قابل توجه نبود. با این وجود، مقدار بارندگی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، اکتبر و نوامبر در هر سه سناریو نسبت به دوره پایه افزایش و در سایر ماه‌ها

علاوه بر این، کشت ارقام مقاوم به تنش‌های حرارتی، مدیریت کارآمد آبیاری و کوددهی و کاربرد نیتروژن بیش‌تر نیز راهکارهایی موثر برای کاهش اثرات مقادیر بالای دماهای حداقل می‌باشند (Sarker et al., 2012).

شکل 2 میانگین حداکثر دمای ماهانه پیش‌بینی شده تحت سناریوهای مختلف را در مقایسه با دوره پایه نشان می‌دهد. به استثنای برخی ماه‌ها در دوره ابتدایی، میانگین حداکثر دمای ماهانه به طور عموم روند افزایشی داشت. بیش‌ترین میزان افزایش دمای حداکثر در هر سه دوره آتی مربوط به سناریوی A2 بود در حالی که همانند وضعیت مشاهده شده برای دمای حداقل، کم‌ترین مقدار افزایش دمای حداکثر در سناریوی B1 مشاهده شد. تحت کلیه سناریوها، میزان دمای حداکثر ماه‌های گرم در مقایسه با ماه‌های سرد، بیش‌تر افزایش خواهد یافت. کم‌ترین میزان افزایش دما برابر 0/83- درجه سانتی‌گراد می‌باشد که در ماه آوریل و تحت سناریوی A1B برای دوره ابتدایی مشاهده شد. بیش‌ترین میزان افزایش دمای حداکثر برابر 3/9 درجه سانتی‌گراد بود که در دوره انتهایی و تحت سناریوی A2 به وقوع پیوست. مقایسه میزان افزایش دمای حداقل و حداکثر نشان می‌دهد که میزان افزایش دمای حداقل عموماً بیش‌تر از دمای حداکثر بود. میانگین کلی افزایش دمای حداقل برای کلیه سناریوها و دوره‌های آتی برابر 1/65 درجه سانتی‌گراد بود در حالی که این مقدار برای دمای حداکثر برابر 1/31 درجه سانتی‌گراد بود. برخی تحقیقات گذشته نیز این موضوع را گزارش کردند (Peng et al., 2004; Turkes and Sumer., 2004). افزایش بیش‌تر دمای حداقل سبب کاهش محدوده تغییرات دمای روزانه خواهد شد.

دماهای خیلی بالا می‌تواند بر رشد و توسعه گیاه و عملکرد آن تاثیر منفی داشته باشد. زمستان‌های گرم‌تر بر گیاهان دایمی و علف‌های هرز تاثیر دارد و زیستگاه مناسبی برای برخی حشرات و آفات فراهم می‌آورد. تولید بیوماس برنج، به‌عنوان گیاه زراعی غالب در منطقه مورد مطالعه، تا دمای 33 درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد



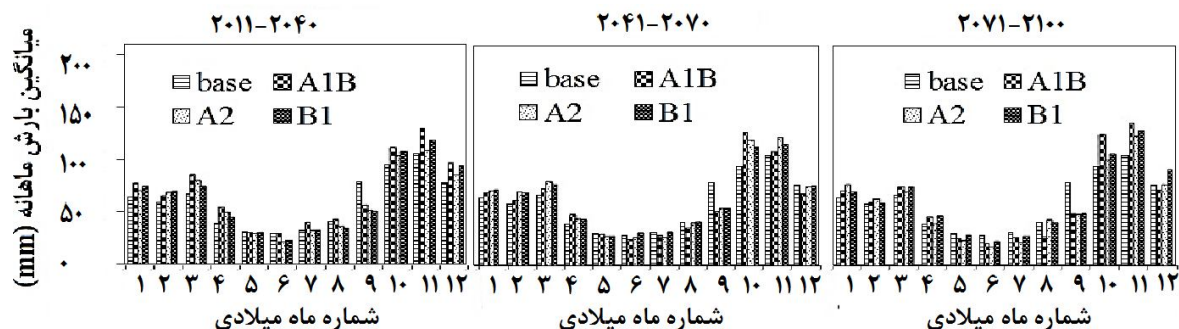
کشاورزی نیز یکی از آثار منفی افزایش شدت بارندگی می‌باشد (Enete and Amusa., 2010). بارندگی اگرچه تنها عامل موثر بر کشاورزی نمی‌باشد، ولی تاثیر آن بر تغذیه آب زیرزمینی و نقش اساسی آب زیرزمینی در کشاورزی منطقه، اهمیت وقوع بارندگی‌های به‌موقع را بیش‌تر نمایان می‌سازد. در چنین شرایطی، تطابق کشاورزی منطقه با تغییر اقلیم و فراهم نمودن زیرساخت‌های مناسب برای بهبود کارایی مصرف آب یا استفاده از سایر منابع آب، می‌تواند پایداری کشاورزی را تا حدودی تضمین نماید. برخی از راهکارهای بالقوه برای تطابق با شرایط آینده وضعیت بارندگی در منطقه، شامل تغییر تاریخ کشت، استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم‌تر و استفاده از عملیات‌های مدیریت خاک (که منجر به بهبود حفاظت آب و موجودیت آن برای گیاهان) می‌باشند. لازم به ذکر است که اتخاذ تدابیر مناسب برای مقابله با اقلیم آینده در هر منطقه، باید براساس تحقیقات مزرعه‌ای کافی صورت گیرد. علاوه بر این، به‌کارگیری راهکارهای مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق فاقد مشکلات غرقابی، طراحی، نصب، مدیریت و نگهداری صحیح سیستم‌های آبیاری و استفاده از تجهیزات مدرن آبیاری نیز می‌تواند برای مقابله با اثرات منفی تغییر اقلیم مفید واقع شوند.

شکل 4 تغییرات میانگین تابش ماهانه خورشید در دوره‌های آتی را در مقایسه با میزان آن در دوره پایه نشان می‌دهد. به‌طور کلی، میانگین تابش ماهانه خورشید در هر سه سناریو نسبت به دوره پایه کاهش یافت. یکی از مولفه‌های مورد بررسی در مباحث تغییر اقلیم که بر رشد گیاه نیز موثر است، تابش خورشیدی است. در تحقیقات متعددی، روند تغییرات طولانی مدت تابش خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت که به‌طور غالب بر روند کاهشی تابش خورشیدی دلالت دارند. تغییر بارش و ابرناکی به‌همراه گرد و غبار، اثر افزایشی بر کاهش تابش دریافتی از خورشید دارند (Stanhill and Cohen., 1997 Liang and Xia., 2005).

این امر نشان می‌دهد که فصول پر باران، مرطوب‌تر شده و فصول خشک، خشک‌تر خواهند شد. هاشمی‌نصب خصیبه و همکاران (1392) گزارش کردند که در دوره 20 ساله 2011-2030، مقدار بارش در استان کرمان به شکل غالب روند افزایشی خواهد داشت. براساس پیش‌بینی‌ها، گرم شدن هوا سبب افزایش بارندگی فصل سرد در منطقه‌ای در غرب آمریکا خواهد شد (Kim., 2005). هم‌چنین، در قرن آتی میزان بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک حدود 20 درصد و یا بیش‌تر کاهش می‌یابد (Misra., 2014).

به‌طور معمول، بخش وسیعی از اراضی منطقه در فصول پاییز و زمستان مواجه با مشکلات غرقابی و ماندابی می‌باشند که نتیجه آن عدم کشت در غالب این اراضی است. افزایش میزان بارندگی در فصول مرطوب، این مشکلات را تشدید خواهد کرد که رفع آن مستلزم تجهیز اراضی به سیستم‌های مختلف زهکشی می‌باشد. از سوی دیگر، کاهش بارندگی در فصول بهار و تابستان که مقارن با فصل کشت می‌باشد، می‌تواند اثرات زیان‌باری بر کشاورزی داشته باشد. غالب خسارات کشاورزی در سراسر جهان ناشی از کمبود بارندگی یا بارش مازاد می‌باشد (Misra., 2014). اثر کاهش بارندگی زمانی بیش‌تر نمایان می‌شود که با افزایش دما همراه باشد (Rao et al., 2014). تلفیق این دو عامل در نهایت سبب کمبود رطوبت خاک خواهد شد. علاوه بر برنج، ذرت یکی دیگر از گیاهانی است که در اواخر اردیبهشت در منطقه مورد مطالعه کشت می‌شود. این گیاه در مرحله ساقه‌دهی تا پر شدن دانه به آب زیادی نیاز دارد. بارندگی و در نتیجه وجود رطوبت کافی در خاک بر کارایی فتوسنتز تاثیر می‌گذارد (Olsen and Bindi., 2002). در نتیجه، تغییر در مقدار و الگوی بارش از اهمیت زیادی برخوردار است.

تغییرات فصلی الگوهای بارش و دما می‌تواند سبب تغییر فصول کشت، تقویم‌های کشت و برداشت، موجودیت آب و جمعیت آفات، علف‌های هرز و بیماری‌ها شود. هم‌چنین، تشدید فرسایش در اراضی

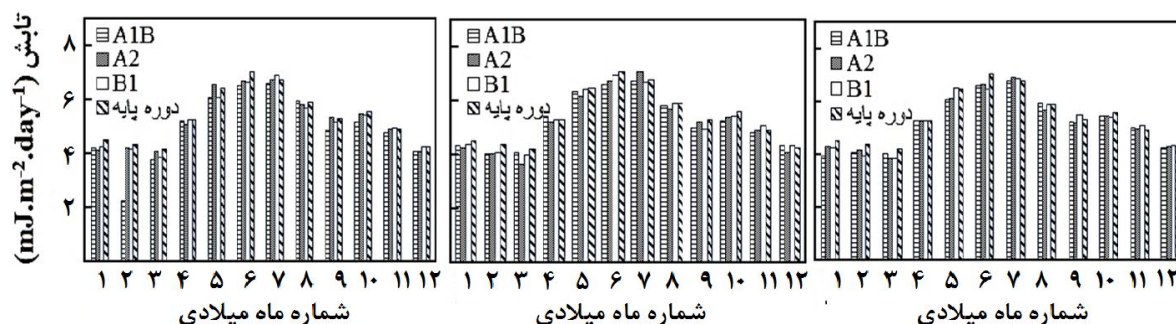


شکل 3- میانگین ماهانه بارندگی در دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف

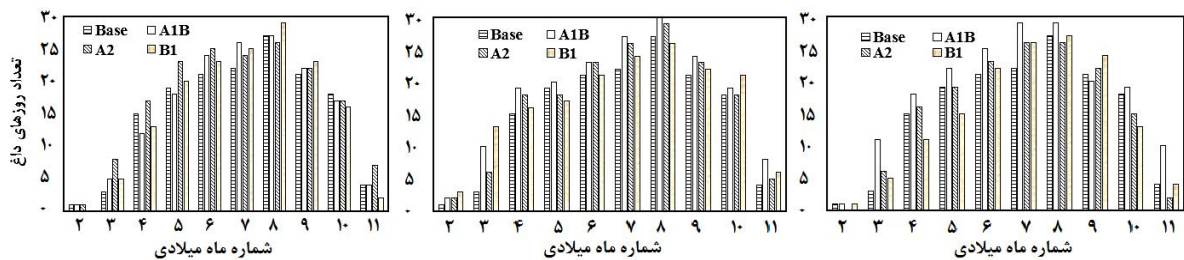
(Zhao et al., 2015).

روند تغییرات میانگین ماهانه تعداد روزهای داغ و یخبندان تحت سناریوهای مختلف به ترتیب در شکل‌های 5 و 6 ارایه شد. روز داغ به روزی گفته می‌شود که دمای بیشینه آن از 30 درجه سانتی‌گراد فزونی یابد. هم‌چنین، روز یخبندان روزی است که در آن دمای کمینه صفر و یا کمتر باشد (خلیلی‌ا قدم و همکاران، 1391). در هر سه سناریو، تعداد روزهای داغ در برخی دوره‌ها نسبت به دوره پایه، افزایش و در برخی دوره‌ها کاهش یافت. بیش‌ترین افزایش تعداد روزهای داغ در دوره ابتدایی تحت سناریوی A2 و در دوره‌های میانی و پایانی در سناریوی A1B مشاهده شد. تعداد روزهای یخبندان در هر سه سناریو در دوره‌های آتی کاهش یافت. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار کاهش در تعداد روزهای یخبندان به ترتیب مربوط به سناریوهای B1 و A1B بود. در آینده گرم‌تر، انتظار می‌رود تعداد روزهای یخبندان در مناطق واقع در عرض‌های متوسط و بالا کاهش یابد (Meehl et al., 2004).

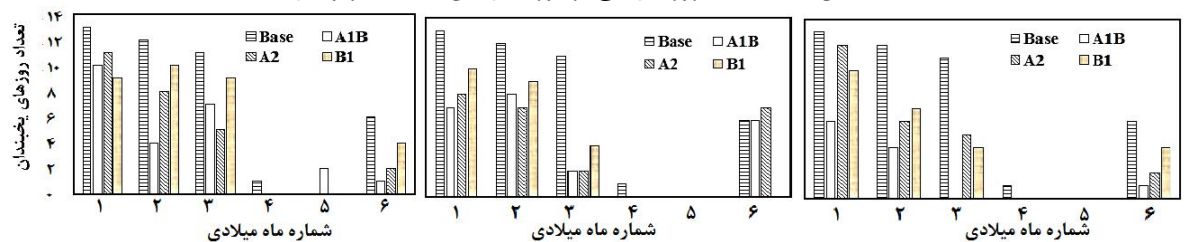
کاهش تابش خورشیدی به‌طور مستقیم بر دمای سطح زمین، چرخه هیدرولوژیکی و اکوسیستم‌ها تاثیر دارد. گزارش شده است که بعد از دمای حداقل، عملکرد دانه برنج بیش‌ترین هم‌بستگی را با تابش خورشیدی دارد (Peng et al., 2004) به طوری که تا حدود 77 درصد تغییرات عملکرد برنج به تغییرات تابش خورشیدی ارتباط داده شد (Nagarajan et al., 2010). رشد گیاه و عملکرد آن تحت تاثیر فتوسنتز هستند و این عامل به میزان تابش خورشیدی دریافتی بستگی دارد. واکنش قابل توجه رشد گیاه به تابش خورشیدی، ممکن است به دلیل تغییر طول مدت فتوسنتز باشد. جدای از تاثیر مستقل هر یک از عوامل اقلیمی بر عملکرد محصول، اثر ترکیبی متغیرهای مختلف اقلیمی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. کاهش تابش خورشیدی و افزایش دمای هوا می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه عملکرد گندم و ذرت شود (Chen et al., 2012; Li et al., 2010). با این وجود، گزارش شد که دماهای بالا به همراه تابش خورشیدی زیاد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت بهاره در مناطق شمالی چین شد



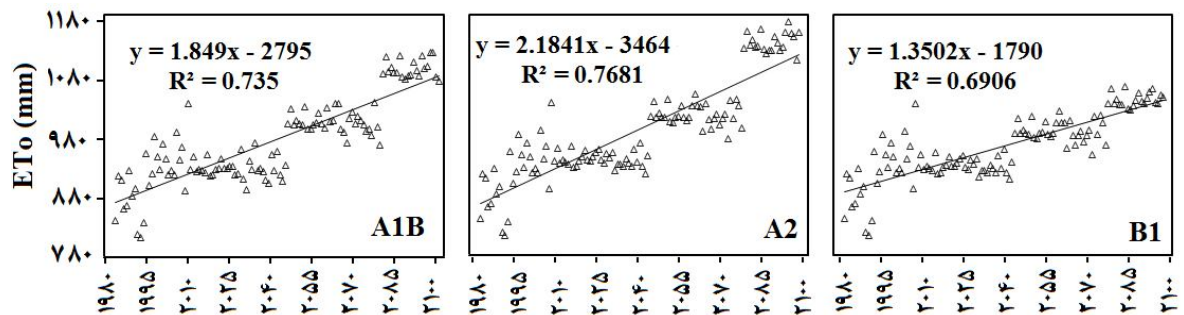
شکل 4- میانگین ماهانه میزان تابش خورشیدی تحت شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دوره پایه



شکل 5- میانگین ماهانه تعداد روزهای آتی تحت سناریوهای مختلف



شکل 6- میانگین ماهانه تعداد روزهای یخبندان در دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف



شکل 7- روند تغییر تبخیر- تعرق پتانسیل در کلیه سناریوها در دوره 1980-2100

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روند تغییرات برخی متغیرهای اقلیمی در سه دوره سی ساله آتی شامل 2011-2040، 2041-2070 و 2071-2100 با استفاده از مدل LARS-WG بررسی شد و اثرات احتمالی آن‌ها از منظر کشاورزی مورد بحث قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که تا سال 2100 میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه به ترتیب تا چهار و 3/9 درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. همچنین، در نتیجه تغییر اقلیم، تحت کلیه سناریوها مقدار بارندگی در فصول مرطوب افزایش یافته و فصول کم‌باران، خشک‌تر خواهند شد. تحقق پیش‌بینی‌های مدل LARS-WG می‌تواند اثرات قابل توجهی بر شرایط کشاورزی پایدار در منطقه داشته باشد. برای تطابق با افزایش دماهای حداقل و حداکثر و کاهش بارندگی در فصول کشت، باید از طریق تغییر تقویم کشت براساس آستانه‌های دمایی مراحل مختلف رشد گیاهان، استفاده از ارقام مقاوم به تنش‌های حرارتی، مدیریت کارآمد آبیاری و کوددهی، طراحی، نصب، مدیریت و نگهداری صحیح سیستم‌های آبیاری و استفاده از تجهیزات مدرن آبیاری، اثرات منفی تغییر اقلیم را

شکل 7 روند تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه در دوره‌های پایه و آتی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تحت هر سه سناریو، روند افزایشی تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره پایه، در دوره‌های آتی نیز ادامه یافت. کم‌ترین و بیش‌ترین شیب افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل به ترتیب در سناریوهای B1 و A2 مشاهده شد. به‌طور متوسط در بازه 2011 تا 2100، مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل در سناریوهای B1، A1B و A2 به ترتیب به میزان 10/47، 8/24 و 12/68 درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. روند افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل در اثر تغییر اقلیم، در تحقیقات گذشته نیز به اثبات رسید (Nkomozepe and Chung., 2014; Terink et al., 2013). به‌طور کلی در دوره‌های آتی، تبخیر- تعرق پتانسیل و دماهای حداقل و حداکثر افزایش خواهد یافت و میزان بارندگی در ماه‌های گرم سال کاهش می‌یابد. بر این اساس، در نظر گرفتن پتانسیل‌های اقلیمی در مدیریت کشاورزی منطقه، می‌تواند متضمن برقراری کشاورزی پایدار در شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آتی باشد.

- Contributions of individual variation in temperature, solar radiation and precipitation to crop yield in the North China Plain, 1961–2003. *Climatic Change*. 116.3: 767- 788.
- Chen,H., Guo,J., Zhang,Z and Xu,Ch. 2013. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Suda by using LARS-WG in future. *Theor Applied Climatology*, 113: 363-375.
- Enete,A.A and Amusa,T.A. 2010. Challenges of Agricultural Adaptation to Climate Change in Nigeria: a Synthesis from the Literature», *Field Actions Science Reports* [Online], URL: <http://factsreports.revues.org/678>.
- Gao,L., Jin, Z., Huang,Y and Zhang,L. 1992. Rice clock model: a computer model to simulate rice development, *Agricultural and Forest Meteorology*. 60.1-2: 1–16.
- Harmesen,E.W., Miller,N.L., Schlegel,N.J and Gonzalez,J.E. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico, *Journal of Agricultural Water Management*. 96: 1085–1095.
- Hassan,Z and Harun,S. 2013. Impact of climate change on rainfall over kerian, malaysia with long ashton research station weather generator (lars-wg). *Malaysian Journal of Civil Engineering*. 25 (1): 33-44.
- Hassan,Z., Supiah,S and Harun,S. 2014. Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theor Appl Climatol*. 116:243–257.
- IFPRI (International Food Policy Research Institute). 2009. Climate change impact on agriculture and costs of adaptation. Washington, D.C., Pp: 19.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. Summary of policymakers: Emissions scenarios. Pp: 21.
- Liang,F. and Xia,X.A. 2005. Long-term trends in solar radiation and the associated climatic factors over China for 1961–2000. *Annales Geophysicae*, 23: 2425–2432.
- Li,S., Wheeler,T., Challinorc,A., Lind,E., Jud,H and Xud, Y. 2010. The observed relationships between wheat and climate in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 1412-1419.
- Lobell,D.B and Ortiz-Monasterio,J.I. 2007. Impacts of day versus night temperatures on spring wheat yields: a comparison of empirical and CERES model predictions in three locations. *Agronomy Journal*, 99: 469–477.
- Luo,Q. 2011. Temperature thresholds and crop production: a review. *Climatic Change*. 109:583–598.
- کاهش داد. همچنین، بهبود وضعیت زهکشی در اراضی مستعد شرایط غرقابی و ماندابی، می‌تواند از اثرات منفی بارندگی‌های شدید در فصول مرطوب بکاهد.
- ### منابع
- بابایان، ا. و نجفی‌نیک، ز. 1385. معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره آماری 1961-2003. دو فصلنامه نیوار. 62 - 63: 24-30.
- حق‌طلب، ن.، گودرزی، م.، حبیبی نوخندان، م.، یآوری، ا. ر. و جعفری، ح. ر. 1392. مدل‌سازی 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. 15,1: 37-49.
- خزانه‌داری، ل. و عباسی، ف. 1388. دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. 12: 83-98.
- خلیلی‌اقدام، ن.، مساعدی، ا.، سلطانی، ا. و کامکار، ب. 1391. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 19: 102-85.
- دوستی، م.، حبیب‌نژاد روشن، م.، شاهدی، ک. و میریعقوب‌زاده، م. ح. 1392. بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG. مجله فیزیک زمین و فضا. 39. 4: 177-189.
- عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، بابایان، ا.، اثمیری، م. و برهانی، ر. 1389. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره‌ی 2039-2010 میلادی با استفاده از مدل LARS-WG. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 24: 218-233.
- سازمان جهاد کشاورزی مازندران. 1391. سیمای کشاورزی مازندران در نگاه آمار طی سال‌های 1376 تا 1390. 39 صفحه.
- هاشمی‌نسب خصیبی، ف.، موسوی بایگی، م.، بختیاری، ب. و داوری، ک. 1392. پیش‌بینی تغییرات بارش 20 سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM3. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. 12: 43-58.
- Adams,R.M., Hurd,B.H., Lenhart,S and Leary,N. 1998. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research*. 11: 19–30.
- Chen,C., Baethgen,W.E and Robertson,A. 2012.

- decades: Implications for agricultural production. *Global and Planetary Change* 117: 1–8.
- Reddy, K.S., Kumar, M., Maruthi, V., Umesha, B and Nageswar, C.V.K. 2014. Climate change analysis in southern Telangana region, Andhra Pradesh using LARS-WG model. *CURRENT SCIENCE*. 107 .54: 54-62.
- Sarker, M.A.R., Alam, K. and Gow, J. 2012. Exploring the relationship between climate change and rice yield in Bangladesh: an analysis of time series data. *Agricultural Systems*, 112: 11–16.
- Stanhill, G and Cohen, S. 1997. Recent changes in solar irradiance in Antarctica, *Journal of Climate*, 10: 2078– 2086.
- Tao, F and Zhang, Z. 2010. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: Quantify the relative contributions of adaptation options. *Europ. J. Agronomy*. 33: 103–116.
- Terink, W., Immerzeel, W.W and Droogers, P. 2013. Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050, *International Journal of Climatology*, 33 (14): 3055–3072.
- Turkes, M and Sumer, U.M. 2004. Spatial and temporal patterns of trends and variability in diurnal temperature ranges of Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 77: 195–227.
- Wang, X, Mosley, C.T., Frankenberger, J.R and Klavivko, E.J. 2006. Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacings using DRAINMOD. *Agricultural Water Management* 79: 113–136.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of rice crop science*. IRRI, Los Banos, p 269.
- Zhao, J., Guo, J and Mu, J. 2015. Exploring the relationships between climatic variables and climate-induced yield of spring maize in Northeast China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 207: 79–90.
- Ma, C.h., Pan, S., Wang, G., Liao, Y and Xu, Y.P. 2015. Changes in precipitation and temperature in Xiangjiang River Basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 123 (3): 859-871.
- Meehl, G.A., Tebaldi, C. and Nychka, D. 2004. Changes in frost days in simulations of twenty-first century climate. *Climate Dynamics*. 23:495-511.
- Misra, A.K. 2014. Climate change and challenges of water and food security. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 3: 153–165.
- Nagarajan, S., Jagadish, S.V.K., Hariprasad, A.S., Thomar, A.K., Anand, A., Pal, M and Aggarwal, P.K. 2010. Local climate affects growth, yield and grain quality of aromatic and nonaromatic rice in northwestern. *Indian Agriculture Ecosystems & Environment*, 138: 274–281.
- Nash, J.E and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, a discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10: 282-290.
- Nkomozepe, T and Chung, S.O. 2014. The effect of climate change on the water resources of the Geumho River Basin, Republic of Korea, *Journal of Hydro-environment Research*, 8 (4): 358- 366.
- Olsen, J.E and Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*. 16: 239–262.
- Peng, S.B., Huang, J.L., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X.H., Centeno, G.S., Khush, G.S and Cassman, K.G. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.* 101: 9971–9975.
- Porter, J.R and Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*. 10:23–36.
- Rao, B.B., Santhibhushan Chowdary, P., Sandeep, V.M., Rao, V.U.M and Venkateswarlu, B. 2014. Rising minimum temperature trends over India in recent

Analyzing Climate Change Effects on Agriculture Sustainability in Mazandaran Province

A. Darzi-Naftchali¹, M. Maldar-Badeli², M. Ziatabar-Ahmadi³ and F. Karandish⁴

Received: Nov.08, 2015

Accepted: Mar.09, 2016

Abstract

Regional development planning requires knowing of climate parameters and adaptation to climate change in future. This is especially more important for Mazandaran province which economy is mainly dependent on agricultural production. In this study, changes in minimum temperature, maximum temperature, precipitation, solar radiation and the number of hot and freezing days of Ghaemshahr city (Mazandaran province) were predicted by the year 2100 and possible effects of these changes on the agriculture of the region was discussed. The climatic variables were predicted by HADCM3 general circulation model under A1B, A2 and B1 scenarios using LARS-WG downscaling model. Evaluation of the model using statistics including model efficiency, coefficient of determination, root mean square error and mean absolute error indicated acceptable performance of the model to simulate future climate conditions in the region. Increases in monthly average of minimum and maximum temperatures in the warmer months will be more than those in the cold months. Increase in the minimum temperature was generally higher than that of the maximum temperature. The average of minimum temperature increase for all scenarios in future periods was 1.65 ° C, while it was 1.13 ° C for maximum temperature. In January, February, March, April, October and November, rainfall generally will increase compared to the base period and in the other months, it will decrease. Also, the amount of solar radiation will decline in all scenarios. On average, potential evapotranspiration will increase by 8.24, 10.47 and 12.68 % during 2011- 2100 compared with the base period under B1, A1B and A2 scenarios, respectively. Based on the results, modification in cropping calendar and pattern and improvement of irrigation and drainage practices are necessary to provide sustainable agriculture in the region under climate change.

Keywords: Cardinal temperature, Cropping calendar, Crops, Evapotranspiration, LARS-WG.

1 -Assistant professor, Water Engineering Department., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2 - MSc student, Water Engineering Department., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3 - Professor, Water Engineering Department., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

4 - Assistant professor, Water Engineering Department., Zabol University

(*-Corresponding Author Email: abdullahdarzi@yahoo.com)