



پیش‌بینی دما و تابش با مدل SDSM بر اساس سناریوهای RCP (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک قراخیل)

احمد عسگری^۱، عبدالله درزی نفتچالی^۲، مهدی نادی^۳ و سید فرهاد صابرعلی^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۴

مقاله پژوهشی - برگرفته از پایان‌نامه دکتری

چکیده

پیش‌بینی مناسب فراسنج‌های اقلیمی، اهمیت قابل توجهی در راستای سازگاری با تغییر اقلیم و کاهش آسیب‌پذیری‌ها در مقیاس‌های محلی دارد. در پژوهش حاضر، برای بررسی تغییر اقلیم از مدل گردش عمومی CanESM2 مربوط به گزارش پنجم IPCC و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. داده‌های ورودی شامل دمای کمینه و دمای بیشینه و تابش ایستگاه سینوپتیک قراخیل قایمشهر و داده‌های NCEP (مرکز ملی پیش‌بینی محیط زیست) برای دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۸۴ بودند. برای تبدیل ساعات آفتابی به تابش از روش آنگسترم اصلاح شده برای شرایط اقلیمی شمال کشور استفاده شد. سپس سناریوهای اقلیمی برای دوره‌های نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، میانی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۱) تولید شدند. نتایج نشان داد در دوره‌های یاد شده، شدت تابش، دمای بیشینه و دمای کمینه به‌میزان ۴٪-۹٪، ۲۴٪-۵٪ و ۳۴٪-۸٪ نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش‌ها (۳°C/۵ و ۲°C/۴) به ترتیب برای دمای بیشینه و کمینه و ۱/۳ Mj/m² برای شدت تابش) در سناریوی RCP8.5 در دوره دور رخ می‌دهد. از آنجاکه دما و تابش از عوامل اصلی در شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد، لذا در منطقه مورد مطالعه برنامه‌ریزی برای انتخاب تاریخ مناسب کشت به منظور سازگاری با شرایط تغییر اقلیم ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، فرمول آنگستروم، CanEMS2

^۱ - دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ahmad_asgari56@yahoo.com

^۲ - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، abdullahdarzi@yahoo.com (نویسنده مسوول)

^۳ - استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، mehdinadi@gmail.com

^۴ - استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، خراسان رضوی، ایران. sf.saberali@yahoo.com

مقدمه

مجموعه پدیده‌های اتمسفری، چه از نظر هواشناسی و چه از نظر اقلیم‌شناسی، سیستم پیچیده‌ای دارد که در آن پدیده‌های جوی به نسبت‌های مختلف ترکیب می‌شوند و شرایط اقلیمی منطقه‌ای را مشخص می‌کنند. عناصر اقلیمی نظیر حرارت، فشار و بادهای بارندگی و غیره تحت تأثیر عوامل اقلیمی نظیر عرض جغرافیایی، دوری و نزدیکی به دریاهای، ارتفاع، ناهمواری‌ها و جهت آنها، زنجیره‌های پرفشار و کم فشار و اشکال گوناگون جغرافیایی می‌باشند (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۵). گرمایش سیستم‌های اقلیمی نیز یکی از محوری‌ترین مسایل در نظام جهانی در رابطه با زمین است که در دهه‌های اخیر، توجه بسیاری از دولت‌ها و نظام‌های سیاسی را جلب نموده است (علی‌جان‌ی و همکاران، ۱۳۹۴). در صد سال اخیر میانگین دمای سطح کره زمین ۰/۷۴ سانتیگراد بیشتر شده است (IPCC, 2007). افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای موجود در اتمسفر زمین از عوامل اصلی مؤثر بر متغیرهای اقلیمی و گرمایش زمین می‌باشد. بنابراین، شبیه‌سازی وضعیت متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی نیاز به آگاهی از وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده است. در این راستا، سناریوهای انتشار که در برگیرنده اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین می‌باشند، توسط هیات بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC تدوین گردید (عباسی و اثمري، ۱۳۹۰). طبق آخرین گزارش این هیات میزان CO₂ جو به حدود ۳۹۲ ppm رسیده است (IPCC, 2013) که نتیجه آن، افزایش متوسط دمای کره زمین طی دهه‌های اخیر و وقوع پدیده‌هایی نظیر خشکسالی، سیلاب، موج‌های گرمایی و سرمایگی و غیره در مناطق مختلف جهان بوده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷). در حال حاضر مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) اثرات افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای بر پارامترهای اقلیم دنیا و در مقیاس منطقه‌ای را پیش‌بینی می‌کنند. طبق این مدل‌ها، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در مقیاس جهانی و منطقه‌ای قابل توجه خواهد بود (Karamouz et al., 2010). در کشور ما با توجه به نشانه‌هایی از اثرات تغییر اقلیم، ضروری است سازگاری لازم در مقابله با اثرات منفی بر بخش کشاورزی، منابع طبیعی

و محیط زیست صورت پذیرد. بنابراین، آگاهی از نتایج خروجی مدل‌های گردش عمومی جو برای رویارویی و تدوین راهکارهای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم در مناطق مختلف کشور ضروری است. اما قطعیت کمی برای تعمیم نتایج این مدل برای منطقه تحت پوشش یک سایت هواشناسی وجود دارد (Wilby et al., 2002) و نیاز به تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی برای پوشش شکاف مکانی و زمانی مدل‌های اقلیمی در سطح محلی می‌باشد. استفاده از این تکنیک‌ها توسط پژوهشگران مختلف دنیا و در ایران برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی گزارش شده است. در خراسان جنوبی، عباسی و همکاران (۱۳۸۹) از خروجی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری ECHO_G برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ استفاده کردند. نتایج کلی بررسی آنها برای دوره مذکور حاکی از افزایش ۴ درصدی بارش در این استان، کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سانتیگراد بود که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سانتیگراد بود. در رابطه با استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، مدل SDSM یکی از پرکاربردترین روش‌ها است. مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM با ترکیب دو روش احتمالاتی و رگرسیونی، داده‌های متغیرهای هواشناسی را می‌سازد (احمدوند کهریزی و روحانی، ۱۳۹۵). این مدل توسعه سناریوهای مختلف، کم هزینه و مربوط به یک سایت مشخص را برای متغیرهای جوی روزانه سطح زمین تسهیل می‌نماید (Wilby et al., 2002). این نرم افزار با غربالگری متغیرهای بزرگ مقیاس غالب، امکان واسنجی و صحت-سنجی، تحلیل آماری و نمایش داده‌های اقلیمی را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. در بسیاری از پژوهش‌ها با توجه به کارایی مدل SDSM، استفاده از این مدل برای پیش-بینی سناریوهای تغییر اقلیم پیشنهاد شده است. در کشور هند و پاکستان مدل SDSM برای پیش‌بینی دمای کمینه و بیشینه و بارش برای حوضه رودخانه Jhelum بکار گرفته شد و میزان افزایش این متغیرها در سناریوهای تغییر اقلیم نشان داده شد (Rashid Mahmood and Babel, 2012). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که دقت مدل SDSM در برآورد پارامتر میانگین دما بیشتر از مدل



پیش‌بینی محیط زیست) و همچنین متغیرهای پیش‌بینی شده در سطح بزرگ‌مقیاس گردش عمومی جو (خروجی از مدل CanEMS2) ریزمقیاس نمایی انجام شد. در واقع از سه دسته داده به عنوان ورودی مدل SDSM استفاده شد.

الف- داده‌های هواشناسی

اولین دسته داده‌های مشاهداتی روزانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک قراخیل واقع در حومه شهرستان قایمشهر در استان مازندران بود. سری طولانی مدت داده‌های روزانه هواشناسی شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی از سال ۱۹۸۶-۲۰۰۵ میلادی تهیه شدند. ساعات آفتابی با استفاده از ضرایب فرمول آنگسترم اصلاح شده برای شمال کشور به شدت تابش تبدیل شد و سپس به عنوان ورودی به مدل وارد شد.

ب- متغیرهای بزرگ مقیاس غالب

دومین دسته داده‌های NCEP شامل داده‌های روزانه ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده بودند. برای انتخاب متغیرهای غالب NCEP در مراحل مختلف ریزمقیاس نمایی آماری، از روش غربالگری در زیر منوی مدل SDSM استفاده شد. از بین متغیرهای NCEP متغیرهایی انتخاب شدند که دارای بیشترین ضریب همبستگی بودند (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳). در جدول (۱) لیست متغیرهای غالب برای ریزمقیاس نمایی داده‌های روزانه دما و تابش ارائه شد. در گام بعدی با انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP، واسنجی در دوره پایه آماری ۱۹۹۸-۱۹۸۴ و صحت‌سنجی در دوره پایه آماری ۲۰۰۵-۱۹۹۹ انجام شد.

CLIMGEN است (Zehtabian et al., 2016). نتایج پژوهش جهانگیر و همکاران (۱۳۹۷) برای ایستگاه سینوپتیک لار نشان داد که مدل SDSM به خوبی دمای کمینه و بیشینه را پیش‌بینی کرده و مدل مناسبی جهت ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی دما است. نتایج مطالعات یاد شده نشان می‌دهد که در بیشتر موارد، فراسنج‌های اقلیمی در سناریوهای آتی تغییر اقلیم افزایش می‌یابد. از مهمترین این فراسنج‌ها دما و تابش هستند که در بیشتر مطالعات شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان که بر پایه درجه روز رشد (GDD) و یا ترکیب نور و دما (روزهای فتوترمال) شبیه‌سازی می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. برنج، مرکبات و دانه‌های روغنی از جمله محصولات مهمی هستند که با توجه به نقش استان مازندران در تولید ناخالص ملی و امنیت غذایی کشور، بررسی واکنش‌های رشد آنها در برابر آثار گرمایش جهانی در آینده وضعیت کشاورزی استان ضروری می‌باشد. در این پژوهش تلاش شد با استفاده از تجزیه و تحلیل مفاهیم سناریوهای بدبینانه و خوشبینانه، تغییرات تابش و دما بررسی شده و اثرات آن بر چالش‌های پیش‌رو در سیستم کشاورزی استان مد نظر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

فرایند شبیه‌سازی با مدل

به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم از تکنیک ریزمقیاس‌سنجی آماری SDSM استفاده شد. در نرم افزار SDSM، پس از تهیه داده‌های هواشناسی و کنترل کیفیت آنها، با استفاده از سری روزانه درازمدت داده‌های مشاهداتی، پیش‌گویی کننده‌های NCEP (مرکز ملی

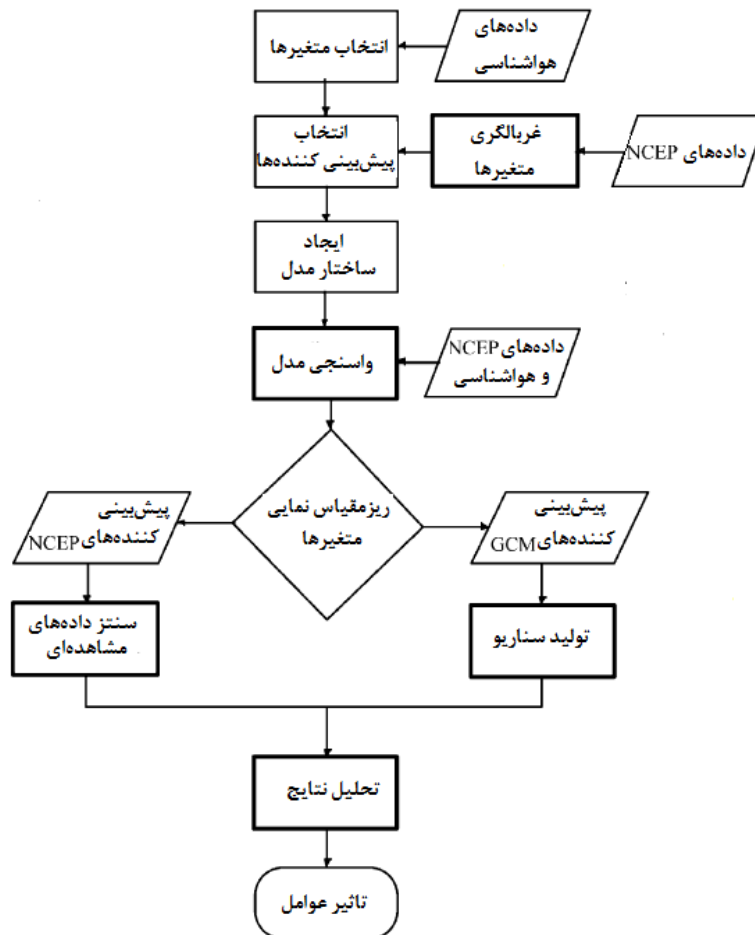
جدول (۱): متغیرهای غالب برای پیش‌بینی دما و تابش در ایستگاه قراخیل قایمشهر در مدل SDSM

| متغیر | متغیرهای بزرگ مقیاس غالب | رگرسیون جزئی |
|-------------|--------------------------|--------------|
| | ncepmslpgl.dat | ۰/۶۱ |
| دمای کمینه | ncepp500gl.dat | ۰/۸۳ |
| | nceptempgl.dat | ۰/۸۶ |
| دمای بیشینه | ncepp500gl.dat | ۰/۷۹ |
| | nceptempgl.dat | ۰/۷۹ |
| | ncepmslpgl.dat | ۰/۶۷ |
| شدت تابش | ncepp500gl.dat | ۰/۶۳ |
| | nceptempgl.dat | ۰/۸۰ |

ج- داده‌های بزرگ مقیاس

دسته سوم داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی جو بودند. در این مطالعه، داده‌های NCEP و مدل‌های گردش عمومی جو CanESM2 تحت سه سناریوی RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 از لینک <http://ccds-dscc.ec.gc.ca> بر اساس طول و عرض جغرافیایی ایستگاه هواشناسی قراخیل اخذ شد. این ایستگاه از لحاظ جغرافیایی در یاخته BOX_020X_45Y داده‌های NCEO و CanEMS2 قرار دارد.

سپس سناریوهای اقلیمی RCP بر اساس داده‌های پایه تولید گردید. این سناریوها شامل دماهای کمینه و بیشینه روزانه و تابش روزانه بودند که برای سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و ۲۰۷۱-۲۰۴۱، ۲۰۷۱-۲۰۷۱، ۲۱۰۰-۲۰۷۱ پیش‌بینی شد و با دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل (۱) فلوچارت روند تولید سناریوهای اقلیمی در مدل SDSM نشان داده شد.



شکل (۱) فلوچارت روند تولید سناریوهای اقلیمی در مدل SDSM (Wilby et al., 2002)

خورشیدی برحسب مگاژول بر مترمربع به صورت زیر تبدیل می‌شود (Angstrom, 1924):

$$\frac{R_s}{R_a} = a + b \left(\frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

برآورد شدت تابش

میزان تابش ورودی به هر نقطه از سطح زمین تنها در تعداد معدودی از ایستگاه‌های سینوپتیک اندازه‌گیری می‌شود. اما ساعات آفتابی در همه ایستگاه‌های سینوپتیک قابل اندازه‌گیری بوده که با فرمول آنگستروم به تابش



برآورد ضرایب ثابت a و b توسط بسیاری از پژوهشگران دنیا برای مناطق مختلف کره زمین ارائه شد. در پژوهش معینی و همکاران (۱۳۸۹)، این مقادیر با توجه به اقلیم‌های مختلف کشور به شرح جدول زیر محاسبه گردید:

در رابطه فوق:
 R_s تابش دریافتی بر حسب $(MJ.m^{-2})$ ، R_a حداکثر تابش در بالای جو زمین بر حسب $(MJ.m^{-2})$ ، n ساعات آفتابی و N حداکثر طول روز می‌باشد. مقادیر ثابت a و b به ترتیب $۰/۲۵$ و $۰/۷۵$ در فرمول آنگستروم پیشنهاد شدند.

جدول (۲) فرمول آنگستروم تصحیح شده برای نواحی اقلیمی ایران (پژوهش معینی و همکاران، ۱۳۸۹)

| فرمول آنگستروم تصحیح شده | ناحیه اقلیمی* |
|----------------------------|---------------|
| $R_s/R_a=0.352+0.373(n/N)$ | ۱ |
| $R_s/R_a=0.317+0.386(n/N)$ | ۲ |
| $R_s/R_a=0.343+0.347(n/N)$ | ۳ |
| $R_s/R_a=0.360+0.359(n/N)$ | ۴ |
| $R_s/R_a=0.404+0.204(n/N)$ | ۵ |

* تقسیم‌بندی ناحیه‌های اقلیمی طبق طبقه‌بندی کوپن و بر اساس دما و بارندگی می‌باشد.

$$\omega_s = \text{Arc Cos} [-\tan(\varphi) \tan(\delta)]$$

(۴)

φ عرض جغرافیایی (بر حسب رادیان) که از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\left[\text{رادیان} \right] = \frac{\pi}{180} \left[\text{درجه} \right]$$

(۵)

δ زاویه میل خورشید (رادیان) که از رابطه زیر محاسبه

شد:

$$\delta = 0.409 \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right)$$

(۶)

در نهایت مقدار ساعت طول روز (N) نیز بر اساس زیر

محاسبه شد:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

(۷)

تمامی روابط ارائه شده در بالا در محیط صفحه گسترده نرم افزار EXCEL فرمول نویسی شد.

ارزیابی مدل

برای انتخاب بهترین متغیرها که جواب نزدیک‌تری به داده‌های مشاهداتی داشته باشند، علاوه بر آماره ضریب

با توجه به قرارگیری منطقه مورد مطالعه در ناحیه اقلیمی ۵، از مقادیر $a = ۰/۴۰۴$ و $b = ۰/۲۰۴$ برای برآورد تابش استفاده شد. در پژوهش حاضر هم مقادیر ثابت a و b پیشنهادی در فرمول آنگستروم و هم مقادیر بدست آمده توسط پژوهش اخیر برای برآورد تابش مورد استفاده قرار گرفت. مقدار R_a نیز بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه گردید (FAO 56, 1998):

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)]$$

(۲)

در رابطه فوق:

R_a تابش برون زمینی بر حسب $(MJ m^{-2} day^{-1})$

G_{sc} ثابت خورشیدی برابر $۰/۰۸۲ MJ m^{-2} min^{-1}$

dr فاصله نسبی زمین تا خورشید که بر حسب شماره روز ژولیوسی از ابتدای سال میلادی (J) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right)$$

(۳)

ω_s زاویه ساعتی غروب خورشید (رادیان) که از رابطه

(۴) محاسبه شد:

داده‌ها است. از نظر کلی مقادیر کوچکتر از ۱ و بزرگتر از ۳ نشانگر خودهمبستگی شدید در بین داده‌ها بوده و خطای زیادی برای مدل کردن داده‌های جدید وجود خواهد داشت.

نتایج و بحث

ارزیابی و واسنجی مدل SDSM

در جدول (۳) ارزیابی عملکرد شاخص‌های پیش‌بینی کننده در واسنجی مدل SDSM برای ایستگاه هواشناسی قراخیل نشان داده شد. متغیرهای انتخابی NCEP با پارامترهای دمایی و تابش با ایستگاه زمینی همبستگی بالایی داشت و سناریوها با دقت و عملکرد نسبتاً خوب دما-های کمینه، بیشینه و شدت را در استان مازندران برآورد نمودند. در واقع داده‌های NCEP نتیجه بر همکنش پیچیده میان داده‌های موجود و نتایج مدل‌های جوی است که به صورت داده‌های شبکه‌بندی شده با پوشش سیاره‌ای داده می‌شوند (رضیئی و فتاحی، ۱۳۹۰). این داده‌ها با توجه به الگوی مکانی ایستگاه قراخیل قایمشهر در یاخته BOX_020X_45Y با سری زمانی داده‌های مشاهداتی برازش مناسبی نشان دادند. بر اساس ضرایب همبستگی از بین ۲۶ متغیر آزمون شده برای داده‌های NCEP، برای هر سه پارامتر دیده‌بانی شده، متغیر بزرگ مقیاس غالب nceptempgl.dat (دمای سطح در ارتفاع ۲ متری) برازش مناسبی نشان داد. با این وجود، متغیرهای ncepp500gl.dat (ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال) و ncepmslpgl.dat (فشار متوسط از سطح دریا) سبب افزایش دقت مدل به ویژه برای پارامترهای دمای کمینه و شدت تابش شد.

جدول (۳): ارزیابی عملکرد شاخص‌های پیش‌بینی کننده در واسنجی مدل

| فرآیند | متغیر اقلیمی | ضریب همبستگی | خطای استاندارد | آماره دوربین-واتسون |
|--------|--------------|--------------|----------------|---------------------|
| | دمای کمینه | ۰/۹۱ | ۲/۲۵ | ۲/۲۶ |
| واسنجی | دمای بیشینه | ۰/۸۶ | ۲/۹۳ | ۲/۱۶ |
| | شدت تابش | ۰/۸۸ | ۱/۷۵ | ۲/۶۳ |

می‌باشد. ضمناً پراکنش الگوی مانده‌های مدل برای پارامترهای دمایی نشان از کاهش بودن واریانس باقی‌مانده‌ها و پراکنش باقی‌مانده‌های شدت تابش نشان از

تعیین R^2 ، از آماره خطای استاندارد نیز استفاده شد. بدیهی است هر روشی که ضریب تعیین بالاتر و خطای استاندارد کمتر داشته باشد، برآوردهای بهتری ارائه می‌کند (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۸). این آماره‌ها از فرمول‌های زیر محاسبه شد (Wang et al., 2006):

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (o_i - p_i)^2} \quad (۸)$$

$$R^2 = \frac{[\sum (o_i - \bar{y}_i)(p_i - \bar{p})]^2}{\sum_1^n (o_i - \bar{y}_i)^2 \sum_1^n (p_i - \bar{p})^2} \quad (۹)$$

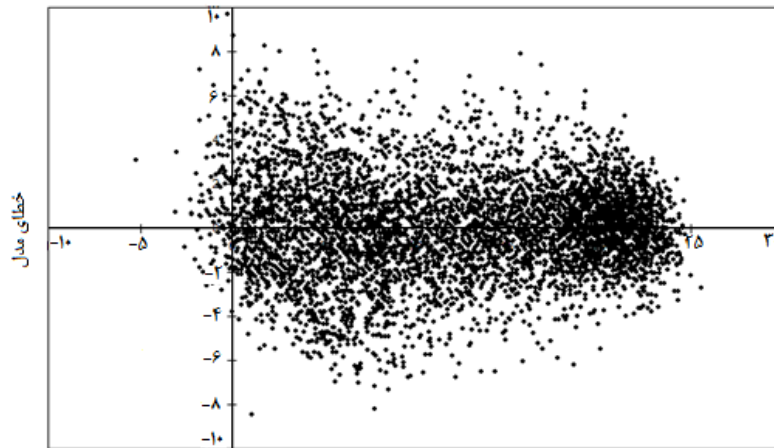
که در آن‌ها؛ O_i و P_i به ترتیب مقدار مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده، تعداد مشاهدات، \bar{O}_i متوسط مقادیر مشاهده شده و \bar{P}_i متوسط مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل می‌باشد. برای بررسی استقلال خطاها (تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله رگرسیون) از آزمون دوربین واتسون (Durbin-Watson) که یکی از مشهورترین آزمون‌ها برای تشخیص خود همبستگی (عساکره و کیانی، ۱۳۹۷) استفاده شد. این آماره از فرمول زیر محاسبه شد (Rono, 2017):

$$d = \frac{\sum_{t=2}^T (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T e_t^2} \quad (۱۰)$$

در فرمول فوق: T تعداد مشاهدات، e_t مقدار خطا مربوط به داده مشاهده‌ای در زمان t و d آماره دوربین-واتسون می‌باشد. دامنه تغییرات این آماره بین ۰ تا ۴ می‌باشد. مقدار آماره d برابر ۲ نشانگر عدم خودهمبستگی

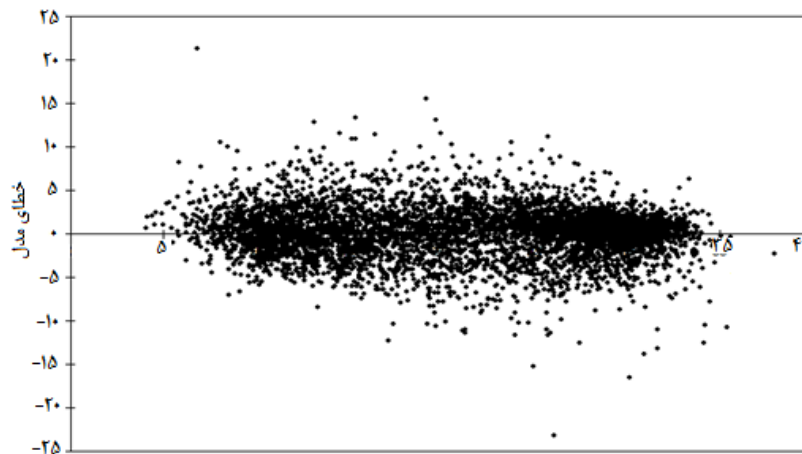
با توجه به مقادیر خطای استاندارد (جدول ۳) و شکل-های (۲) تا (۴) مانده‌های مدل در اطراف محور X ها متمرکز هستند و دامنه تغییرات آنها روی محور Y نیز نشان می‌دهد که کمترین خطای استاندارد مربوط به شدت تابش

الگوی نسبتاً افزایشی واریانس مانده‌ها نسبت به مقدار پیش‌بینی شده دارد.



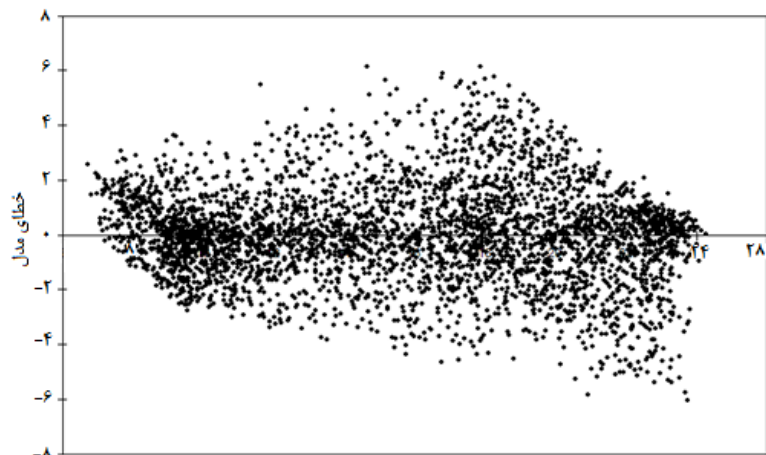
مقادیر پیش‌بینی شده (۷) برای دمای کمینه (ساتنی‌گراد)

شکل (۱): پراکنش خطای مدل برای دمای کمینه



مقادیر پیش‌بینی شده (۷) برای دمای بیشینه (ساتنی‌گراد)

شکل (۲): پراکنش خطای مدل برای دمای بیشینه

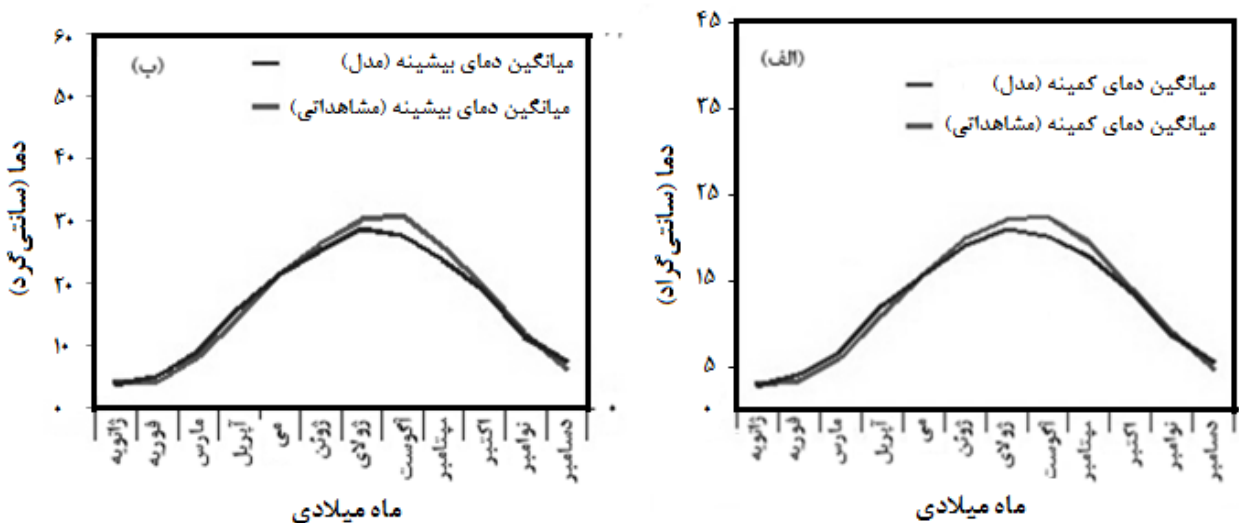


مقادیر پیش‌بینی شده (۷) برای شدت تابش (مگاژول بر مترمربع در روز)

شکل (۳): پراکنش خطای مدل برای تابش

قرار گیرد. با این حال دقت مدل در ماه‌های فصل پاییز، زمستان و بهار بیشتر از ماه‌های فصل تابستان بود. در ماه آگوست در فصل تابستان با مقدار ۲/۲۹ درجه سانتیگراد و در ماه آپریل در فصل بهار با مقدار ۰/۱۱ سانتیگراد به ترتیب بیشترین و کمترین اختلاف در مقادیر مشاهداتی مشاهده شد.

شکل (۵) مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده دماهای ماهانه کمینه و بیشینه را نشان می‌دهد. مدل SDSM به خوبی توانسته است میزان دمای کمینه و بیشینه را برای ایستگاه سینوپتیک قراخیل شبیه‌سازی کرده و از دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی این متغیرهای دمایی برای سناریوهای RCPs تحت مدل CanEMS2 مورد استفاده



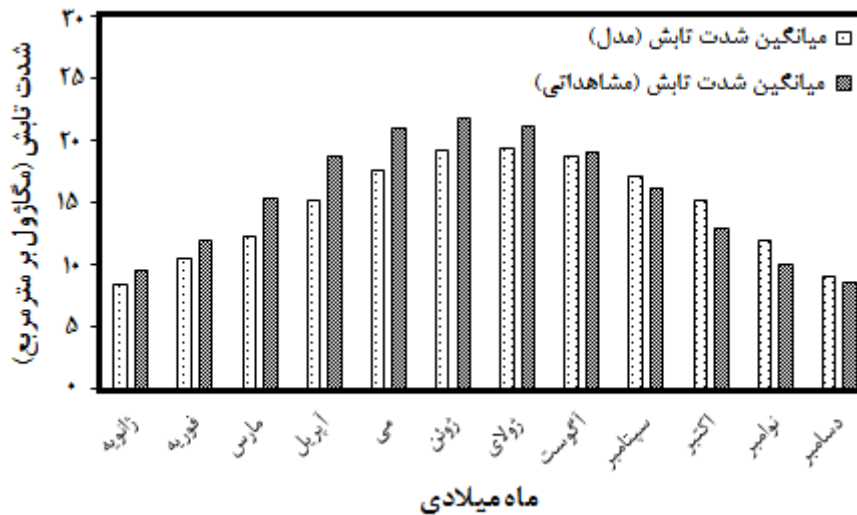
شکل (۵): مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده برای پارامترهای الف- دمای کمینه و ب- دمای بیشینه در ایستگاه سینوپتیک قراخیل برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۴

ماه‌های آپریل تا ژولای است. از طرف دیگر، شدت تابش با استفاده از فرمول آنگستروم از داده‌های ساعات آفتابی برآورد گردید. از آنجایی که در این فرمول برآورد تابش کلی در سطح زمین تنها براساس یک رابطه خطی از روی ساعات آفتابی و با توجه به مختصات جغرافیایی هر منطقه است و تاثیر سایر عوامل هواشناسی در آن لحاظ نمی‌شود، لذا به نظر می‌رسد بخشی از خطای مدل در ارتباط با میزان دقت داده‌های برآوردی از معادله تابش در ماه‌های مختلف سال باشد. طبق برخی پژوهش‌ها، شرایط بارندگی، آشفستگی جو، مقادیر ریزگردها و مقدار بخار هوا در برآورد شدت تابش اثر گذار است (Benson et al., 1984). نتایج پژوهش فولادمند و کریمی (۱۳۹۶) برای واسنجی و ارزیابی ۱۴ مدل تخمین تابش خورشیدی روزانه در مقیاس زمانی فصلی و سالانه شیراز نیز نشان داد که در مجموع دقت تخمین تابش خورشیدی برای فصل پاییز و مقیاس زمانی

شکل (۶) داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را برای پارامتر شدت تابش در ایستگاه هواشناسی قراخیل نشان می‌دهد. دقت مدل در برآورد تابش در ماه‌های فصل بهار و اوایل فصل تابستان (آپریل تا ژولای) کمتر از ماه‌های فصل پاییز و زمستان بود. به بیان دیگر، دقت پیش‌بینی تابش خورشیدی از مدل SDSM برای ماه‌های فصول سرد پاییز و زمستان بسیار زیاد بود. دقت پیش‌بینی تابش خورشیدی توسط مدل SDSM برای ماه‌های فصول سرد پاییز و زمستان بسیار زیاد بود که علت آن، عملکرد متغیرهای غالب در برآورد شدت تابش در این ماه‌ها است. با توجه به مقدار آماره دوربین-واتسون (جدول ۳) مربوط به شدت تابش نیز می‌توان گفت که تا حدی خودهمبستگی بین خطاها در پیش‌بینی متغیرهای تابش وجود داشت. بنابراین می‌توان گفت از نقاط ضعف مدل SDSM استفاده از رگرسیون خطی در کم برآورد نمودن شدت تابش در



سالانه مناسب‌تر است. بدیهی است شبیه‌سازی شدت تابش توسط مدل SDSM بر اساس داده‌های اندازه‌گیری (از قرایت پیرانومترها) از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد.



شکل (۶): مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و دیدبانی برای تابش خورشیدی

پیش‌بینی فراسنج‌ها در سناریوهای تغییر اقلیم

مؤثر است (Chisanga et al., 2017). شواهد آزمایشی نشان می‌دهد که تسریع مراحل فنولوژی، مهمترین تاثیر افزایش دما در گیاهان (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷) به دلیل همبستگی مراحل رشد با مقدار GDD است. افزایش دما موجب کوتاه‌تر شدن دوره رشد از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک گیاه خواهد شد (Qian et al., 2018). بنابراین، افزایش فراسنج‌های دمایی موجب کاهش طول دوره رشد محصولات استراتژیک استان از جمله برنج، مرکبات و دانه‌های روغنی خواهد شد. در چنین شرایطی، انتخاب تاریخ کشت از راهبردهای اساسی برای سازگاری با تغییر اقلیم در استان خواهد بود. به‌عنوان مثال انتخاب تاریخ کشت مناسب برنج به‌عنوان کشت اول و دانه روغنی کلزا به‌عنوان کشت دوم و همچنین استفاده از شیوه‌های مناسب زراعی می‌تواند شرایط بهبود عملکرد این محصولات را فراهم آورد. نتایج شبیه‌سازی رشد و عملکرد کلزا در کانادا نشان داد که در سناریوهای RCPs، با افزایش دما تاریخ مناسب کشت در مقایسه با دوره پایه، تا ۲۱ روز زودتر خواهد بود. نتایج پژوهش درزی و کاراندیش (۱۳۹۵) با استفاده از مدل ریزمقیاس LARS-WG نشان داد که در

بر اساس نتایج آماری در فرآیند واسنجی و صحت‌سنجی در دوره‌های آماری، پیش‌بینی فراسنج‌های اقلیمی از مدل گردش عمومی CanESM2 ذکر شده در گزارش پنجم IPCC انجام شد. در جدول (۴) میانگین فراسنج‌های اقلیمی از خروجی مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های مختلف ارایه شد. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با مقادیر دوره پایه نشان می‌دهد که در همه سناریوها میزان فراسنج‌های اقلیمی نسبت به دوره پایه افزایش یافت. این افزایش‌ها بر اجزای بیلان آب و محیط زیست طبیعی منطقه مورد مطالعه تاثیر خواهد داشت. به‌طور کلی، با افزایش متوسط دمای جهانی انتظار می‌رود که هوا خشک‌تر شده و تبخیر از سطح خاک افزایش یابد (Roderick et al., 2002). دمای بیشینه با شدت بیشتری نسبت به دمای کمینه در حال افزایش است. افزایش تواترهای درجه حرارت بالا و افزایش دامنه تغییرات درجه حرارت بر مقدار GDD و مقادیر فتوترمال گیاهان زراعی تاثیر دارد. علاوه بر این، تغییرات دمای بیشینه، کمینه و بارش بر سرعت رشد محصول، فتوسنتز، تبخیر-تعرق و همچنین رطوبت آب در خاک و مقدار مواد مغذی

رضانی‌پور (۱۳۹۷) با شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های نوشهر، بابلسر و قراخیل قایمشهر توسط مدل LARS-WG و معادلات رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی عملکرد برنج نشان داد که نوسانات هریک از پارامترهای دمای بیشینه و کمینه و ساعات آفتابی موجب نوسان عملکرد برنج خواهد شد. ضمناً بر اساس پژوهش اخیر، کاهش عملکرد برنج برای منطقه قایمشهر پیش‌بینی گردید. بر اساس نتایج پژوهش درزی و همکاران (۱۳۹۴)، حفظ کشاورزی پایدار در استان مازندران در شرایط تغییر اقلیم مستلزم تغییر تقویم و الگوی کشت و بهبود عملیات آبیاری و زهکشی می‌باشد.

اثر تغییر اقلیم، تعداد روزهای لازم برای رسیدگی فیزیولوژیکی بین یک تا ۲۰ روز کاهش خواهد یافت. البته تاثیر افزایش فراسنج‌های اقلیمی و تغییر در مراحل فنولوژی گیاه در مواردی موجب افزایش و یا کاهش عملکرد خواهد شد. نتایج برخی پژوهش‌ها در استان‌های مازندران، گلستان و اردبیل نشان داد که افزایش دمای بیشینه موجب افزایش عملکرد سویا می‌شود، در حالی که افزایش دمای کمینه موجب کاهش عملکرد آن خواهد شد (Satari, Yuzbashkandi and Kalilian, 2019). در کشور نیجریه نتایج یک پژوهش نشان داد که افزایش دمای کمینه موجب افزایش عملکرد برنج خواهد شد (Ayinde et al., 2013).

جدول (۴) میانگین فراسنج‌های اقلیمی در دوره پایه و پیش‌بینی آن‌ها در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

| سناریو | دوره | میانگین تابش خورشیدی (MJ m ⁻² day ⁻¹) | میانگین دمای کمینه (سانتی‌گراد) | میانگین دمای بیشینه (سانتی‌گراد) |
|-----------|-----------|---|------------------------------------|-------------------------------------|
| RCP2.6 | ۲۰۴۱-۲۰۴۰ | ۱۵/۴ | ۱۳/۸ | ۲۳/۲ |
| | ۲۰۷۱-۲۱۰۰ | ۱۵/۴ | ۱۳/۷ | ۲۳/۵ |
| | ۲۰۱۱-۲۰۴۰ | ۱۵/۳ | ۱۳/۲ | ۲۲/۵ |
| RCP4.5 | ۲۰۴۱-۲۰۷۰ | ۱۵/۶ | ۱۴/۲ | ۲۳/۸ |
| | ۲۰۷۱-۲۱۰۰ | ۱۵/۷ | ۱۴/۸ | ۲۴/۵ |
| | ۲۰۱۱-۲۰۴۰ | ۱۵/۵ | ۱۳/۵ | ۲۲/۹ |
| RCP8.5 | ۲۰۴۱-۲۰۷۰ | ۱۵/۵ | ۱۵/۰ | ۲۴/۶ |
| | ۲۰۷۱-۲۱۰۰ | ۱۵/۹ | ۱۶/۷ | ۲۶/۹ |
| دوره پایه | ۱۹۸۴-۲۰۱۰ | ۱۴/۶ | ۱۲/۵ | ۲۱/۶ |

سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۰/۶، ۰/۸ و ۰/۸ مگاژول بر مترمربع بر روز نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. در سناریوی RCP4.5 این مقادیر در دوره‌های مورد اشاره به ترتیب ۰/۷، ۱ و ۱/۱ و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۰/۹، ۰/۹ و ۱/۳ خواهد بود. به‌طور کلی، شدت افزایش این پارامتر کمتر از پارامترهای دمایی بود. با توجه به ماهیت این فراسنج که متأثر از تابش دریافتی برون زمینی و عرض جغرافیایی منطقه است، در سناریوهای اقلیمی و مدل ریزمقیاس نمایی اقلیمی SDSM، افزایش شدت تابش به میزان کمتری نسبت به پارامتر دمای کمینه و بیشینه تحت تاثیر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای پیش‌بینی می‌گردد.

تغییرات میزان تابش، دمای کمینه و بیشینه ماهانه در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در شکل (۷) نشان داده شد. تغییر دماهای کمینه و بیشینه در هر سه دوره بیشتر از تابش خواهد بود. در هر سناریو، تقریباً شیب افزایشی مثبت در پارامترهای دمایی وجود دارد اما برای مدت تابش برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ویژه در دوره میانی، شیب افزایشی مثبت نسبت به دوره‌های نزدیک، میانی و دور مشاهده نمی‌شود. علت این موضوع در ارتباط با ساعات آفتابی و تغییرات ساعات ابرناکی می‌باشد که در همکنش با سایر پارامترهای جوی از جمله وضعیت بارندگی روزهای سال در دوره میانی می‌باشد. به طور متوسط، میانگین تابش در دوره‌های نزدیک، میانی و دور در

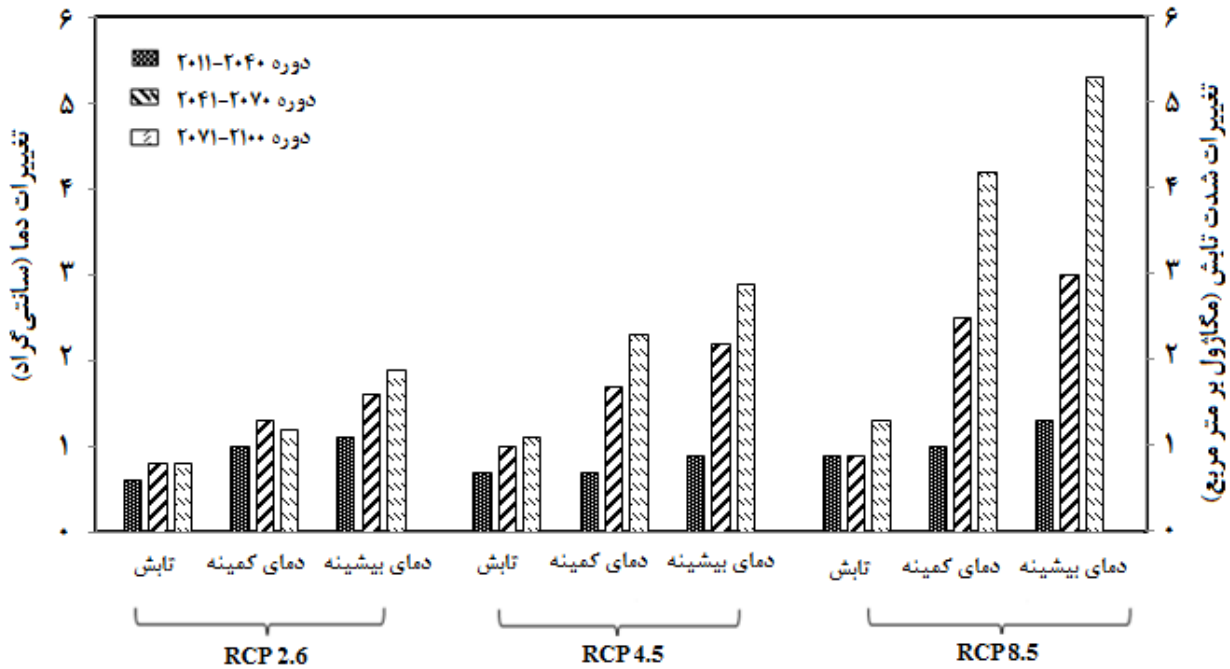


افزایش گازهای گلخانه‌ای و بازتابش انرژی‌های حرارتی دریافتی از زمین در هنگام شب بود. بدیهی است تغییرات افزایشی دمای کمینه بر اقلیم و کشاورزی این مناطق تاثیرگذارتر خواهد بود. همچنین با توجه تاثیر دمای کمینه در میانگین دما و در نتیجه میزان درجه روز رشد (GDD) مورد نیاز گیاه، تاریخ کشت نیز تحت تاثیر شرایط دمایی محیط قرار می‌گیرد.

به‌طور متوسط، میانگین دمای بیشینه نیز در دوره‌های زمانی نزدیک، میانی و دور در سناریوی RCP2.6، به ترتیب حدود ۱/۱، ۱/۶ و ۱/۹ سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. در سناریوی RCP4.5 این مقادیر در دوره‌های مورد اشاره به ترتیب ۰/۹، ۲/۲ و ۲/۹ و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۱/۳، ۳ و ۵/۳ خواهد بود. افزایش میزان این پارامتر در هر سه دوره و در سناریوهای مختلف، بیشتر از میزان تغییرات دمای کمینه بود. در پژوهش جهانگیر و همکاران (۱۳۹۷)، افزایش دمای بیشینه بین ۲/۰۱ تا ۲/۳۰ برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱، بین ۲/۶۱ تا ۴/۱۳ برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲/۷ تا ۵/۹۴ برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ برای ایستگاه هواشناسی لار گزارش شد که از این نظر در مقایسه با پژوهش حاضر میزان افزایش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه برای این ایستگاه بیشتر بود. این نتیجه در پژوهش رضایی و همکاران (۱۳۹۳) برای منطقه کرمان و بم مشاهده شد. افزایش دمای بیشینه در سناریوهای اقلیمی بر شاخص تنش گرمایی گیاهان زراعی، یعنی مجموع درجه روزهایی که دمای بیشینه بالاتر از آستانه رشد گیاه می‌باشد (Qian et al., 2018) تاثیر داشته و موجب توقف رشد گیاهان زراعی خواهد شد. نتایج بررسی روی ۱۴ رقم تجاری پاییزه و بهاره کلزا در کشور نشان داد که تنش خشکی هم در مرحله گلدهی و هم در مرحله پر شدن دانه‌ها تاثیر بسزایی بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف گیاهی داشت (منجم و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین، تنش‌های گرمایی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای به ویژه در سناریوی RCP8.5 برای دوره دور موجب تاثیر منفی بر فاز زایشی و نهایتاً عملکرد گیاهان زراعی به ویژه دانه روغنی کلزا خواهد شد.

میانگین دمای کمینه نیز در دوره‌های نزدیک، میانی و دور در سناریوی RCP2.6، به ترتیب ۱، ۱/۳ و ۱/۲ سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. در سناریوی RCP4.5 این مقادیر در دوره‌های مورد اشاره به ترتیب ۰/۷، ۱/۷ و ۲/۳ و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۱، ۲/۵ و ۴/۲ خواهد بود. افزایش این پارامتر بر اساس داده‌های (HadCM3 (A2) و HadCM3 (B2) در منطقه کرمان و بم طبق پژوهش رضایی و همکاران (۱۳۹۳) هم گزارش شد، به طوری که برای دوره‌های زمانی نزدیک و میانی و دور در سناریوهای A2، حدود ۱/۶، ۱/۴ و ۱/۶ درجه سانتیگراد و در سناریو B2 به ترتیب حدود ۱/۷، ۱/۴ و ۱/۵ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه افزایش داشت. نتایج مشابه در پژوهش عساکره و همکاران (۱۳۹۸) که برای شبیه‌سازی دمای کمینه در پنج ایستگاه هواشناسی استان مازندران با استفاده از مدل SDSM و داده‌های مدل HADCM3 بدست آمد، به طوری که در پژوهش یاد شده نشان داده شد که این فراسنج در سال‌های آینده روندی افزایشی دارد و مقدار افزایش آن در دوره‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۹، ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ و ۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه به‌طور متوسط ۱/۸، ۳/۵ و ۶ درصد خواهد بود. در پژوهش جهانگیر و همکاران (۱۳۹۷) این افزایش با با بکارگیری مدل CanEMS2 و سناریوهای RCPs در نرم‌افزار SDSM بین ۱/۱۲ تا ۱/۲۹ برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱، بین ۱/۴۷ تا ۲/۳۵ برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۱/۴۶ تا ۳/۳۱ برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ برای ایستگاه هواشناسی لار بدست آمد که از این نظر با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

به‌طور کلی، نتایج حاصل از تحلیل روند تغییرات دمای کمینه و پیش‌بینی آن نشان داد که در دوره سوم، میانگین دمای کمینه سالانه در ایستگاه مورد مطالعه، بیشترین روند مثبت را در منطقه داشته است. نتایج پژوهش کریمی و همکاران (۱۳۹۷) در ایستگاه‌های سواحل جنوبی دریای خزر نیز نشان داد شیب و تاثیر دمای کمینه در افزایش میانگین دما در ایستگاه‌هایی که دارای روند افزایشی دما هستند، بیشتر از دمای بیشینه است که علت آن در نتیجه



شکل (۷): افزایش فراسنج‌های اقلیمی نسبت به دوره پایه در سناریوهای مختلف

نتیجه‌گیری

دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ مشاهده شد. تاثیر افزایش در فراسنج-های یاد شده می‌تواند موجب بهبود فرآیند شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی بر اساس درجه روز رشد و روزهای فتوترمال شود. از این رو با توجه به روند افزایش پارامترهای دمایی و تابش در یافته‌های پژوهش حاضر، راهبردهای سازگاری نظیر زمان مناسب عملیات کشاورزی، تناوب زراعی، تطبیق تاریخ کشت متناسب با خروجی‌های مدل SDSM برای کشت محصولات زراعی مهم از جمله برنج، مرکبات و دانه‌های روغنی برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

در پژوهش حاضر، پیش‌بینی دما و تابش در سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) برای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قایمشهر در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت. بر طبق نتایج بدست آمده، روند افزایشی برای این فراسنج‌های اقلیمی در سناریوهای RCPs در هر سه دوره مشاهده شد. بیشترین افزایش برای پارامتر دمای بیشینه در سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ و کمترین آن برای پارامتر تابش در

منابع

جهانگیر، م.ح.، س.ج. ساداتی‌نژاد و پ. حقیقی. ۱۳۹۷. پیش‌بینی پارامترهای دمایی تحت مدل (CanEMS2)، (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک لار). نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، سال ششم، شماره ۲۲، ص ۴۵-۵۳.

درزی نفت‌چالی، ع. و ف. کاراندیش. ۱۳۹۵. مدیریت کشت برنج در استان مازندران در شرایط تغییر اقلیم. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۰، شماره ۳، ص ۳۳۳-۳۴۶.

درزی نفت‌چالی، ع.، م. مالدار بادل، م.خ. ضیارتبار احمدی و ف. کاراندیش. ۱۳۹۴. تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر پایداری کشاورزی در استان مازندران. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۹، شماره ۶، ص ۹۹۴-۱۰۰۴.



- رضایی، م.، م. نهستانی، ع. آبکار، م. رضائی و م. میرکازهی ریگی. ۱۳۹۳. بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال پنجم، شماره ۱۰، ص ۱۳۱-۱۱۷.
- رضیئی، ط. و ا. فتاحی. ۱۳۹۰. ارزیابی کاربرد داده‌های بارش NCEP/NCAR در پایش خشکسالی ایران. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۲، ص ۲۴۷-۲۲۵.
- رمضانی‌پور، م. ۱۳۹۷. پیش‌بینی اثر تغییر آب و هوایی بر شاخص‌های اقلیم کشاورزی و عملکرد برنج (مطالعه موردی: مناطق شمال ایران). فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۸ شماره ۳۲، ص ۸۰-۶۹.
- عباسی، ف. و م. اثمري. ۱۳۹۰. پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با الگوی MAGICC-SCENGEN. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۱، ص ۸۳-۷۰.
- عباسی، ف.، ش. ملبوسی، ا. بابائیان، م. اثمري و ر. برهانی. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۲، ص ۲۳۳-۲۱۸.
- عساکره، ح. و ح. کیانی. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷، شماره ۱۰۵، ص ۶۲-۴۹.
- عساکره، ح.، ع. شاهبایی کوتنایی و م. فرومدی. ۱۳۹۸. ارزیابی تغییرات و پیش‌بینی دمای کمینه در غرب استان مازندران با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال بیست و سوم، شماره ۱، ص ۱۱۹-۱۰۱.
- علیجانی، ب.، ن. مجیدی‌راد، م.س. نجفی، ا. خدائی و س. رحیمی هرآبادی. ۱۳۹۴. تحلیل اثرات گرمایش جهانی بر سیستم‌های ژئوپلیتیک نظام بین‌الملل. فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه گلستان، سال پنجم، شماره ۱۸، ص ۲۰۴-۱۸۵.
- فولادمند، ح.ر. و ف. کریمی. واسنجی و ارزیابی مدل‌های مختلف تخمین تابش خورشیدی روزانه در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه در منطقه شیراز. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۱، شماره ۱، ص ۳۳۰-۳۲۱.
- کریمی، م.، ف. ستوده و س. رفعتی. ۱۳۹۷. تحلیل روند تغییرات و پیش‌بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هجدهم، شماره ۴۸، ص ۹۳-۷۹.
- گودرزی، م.، س. ا. حسینی و ا. مسگری. ۱۳۹۵. مدل‌های آب و هواشناسی. انتشارات آذر کلک، زنجان، ۲۷۲ ص.
- محمدی، ح.ر.، م. رمرودی، م. بنایان، م.ر. اصغری‌پور و ح.ر. فنایی. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و مراحل فنولوژیک رشد گندم در منطقه زابل. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی زراعی. سال دهم، شماره ۳۴، ص ۱۹۱-۱۸۱.
- معینی، س.، ش. جوادی، م. کوبی و م. دهقان منشادی. ۱۳۸۹. برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه. نشریه انرژی ایران، دوره ۱۳، شماره ۲، ص ۱۰-۱.
- منجم، س.، ع. احمدی و و. محمدی. ۱۳۸۹. اثرات تنش خشکی در مراحل زایشی بر تسهیم مواد فتوسنتزی ارقام تجاری کلزا. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، جلد ۳، شماره ۳، ص ۱۷۸-۱۶۳.
- موسوی بایگی، م.، م. عرفانیان و م. سرمد. ۱۳۸۸. استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۱، ص ۹۹-۹۱.

Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 50: 121-126.

Ayinde, O.E., V.E.T. Ojehomon, F.S. Daramola and A.A. Falaki. 2013. Evaluation of effects of climate change on rice production in Niger state. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 6: 763-773.

Benson, R.B., M.V. Paris, J.E. Sherry and C.G. Justus. 1984. Estimation of daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements. *Solar Energy*, 32(4): 523-535.

IPCC. 2007. "Climate change 2007: the physical science basis of climate change". Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edited by: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Karamouz, M., M. Taheriyoun, A. Baghvand, H. Tavakolifar and F. Emami. 2010. Optimization of Watershed Control Strategies for Reservoir Eutrophication Management. *Journal of irrigation and drainage engineering*, ASCE, 136(12): 847-861.

Qian, B., Q. Jing, G. Bélanger, J. Shang, T. Huffman, J. Liu, and G. Hoogenboom. 2018. Simulated Canola Yield Responses to Climate Change and Adaptation in Canada. *Agronomy Journal*, 110(1): 133-146.

Rashid Mahmood, R. and M.S. Babel. 2012. Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theoretical and Applied Climatology*, 18 pages.

Roderick, M.L. and G.D. Farquhar. 2002. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years. *Science*, 298(5597): 1410-1411.

Satari Yuzbashkandi, S. and S. Khalilian. 2019. On Projecting Climate Change on Soybean Yield in Iran: and Econometric Approach. *Environmental Processes*, 1-15.

Wang, X., C.T., Mosley, J.R. Frankenberger, and E.J. Klavivko. 2006. Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacing using DRAINMOD. *Agricultural Water Management*, 79:113-136.

Rono, F. 2017. Statistical downscaling of future rainfall and temperature under different CanEMS2-RCP model scenarios. M.se Thesis, University of Nairobi, 75 pages.

Wilby, R.L., C.W. Dawson and E.M. Barrow. 2002. SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17:147-159.

Zehtabian, Gh.r., A. Salajegheh, A. Malekian, N. Boroomand, and A. Azareh. 2016. Evaluation and comparison of performance of SDSM and CLIMGEN models in simulation of climatic variables in Qazvin plain. *Desert*, 21(2): 147-156.



Predicting temperature and solar radiation by SDSM model based on RCP scenarios (Case Study: Gharakheil synoptic station)

A. Asgari¹, A. Darzi-Naftchali^{*2}, M. Nadi³ and S.F. Saberali⁴

Abstract

Suitable prediction of climatic parameters is considerably important for adapting to climate change and mitigating vulnerabilities in local scales. In current research, for climate change assessment, the CanESM2 model in the 5th IPCC report and Statistical down scaling model (SDSM) was used under three scenarios: RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5. The input data were minimum and maximum temperature and solar radiation of Gharakheil synoptic station in Ghaemshahr and NCEP data (National Environmental Prediction Center) for the base period (1984-2005). Sunshine hours were converted to solar radiation using adjusted Angstrom formula for climate condition of the north of Iran. Future climate scenarios were then developed for early-future (2011–2040), medium-future (2041-2070) and late-future (2071-2100). The results showed that during these periods, solar radiation, maximum temperature and minimum temperature will increase by 4-9 %, 5-24% and 8-34% compared to the base period. The largest increases (5.3^{0c} and 4.2^{0c} for maximum and minimum temperatures respectively, and 1.3 Mj/m² for solar radiation) will occur during late future period under RCP8.5 scenario. Since temperature and radiation are the main affecting factors for crop growth and yield simulation, the planning is essential in order to choose the appropriate planting date to adapt to climate change in the study area.

Keywords: Angstrom formula, Climate change, CanEMS2

¹. PhD student in Irrigation and Drainage Engineering, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ahmad_asgari56@yahoo.com

². Associate Professor, Water engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (corresponding Author), abduhahdarzi@yahoo.com (corresponding author)

³. Assistant Professor of Water engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, mehdi.nadi@gmail.com

⁴. Assistant Professor of Horticulture Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, High Educational Complex of Torbat-e Jam, khorasan Razavi, Iran. sf.saberali@yahoo.com



Predicting temperature and solar radiation by SDSM model based on RCP scenarios (Case Study: Gharakheil synoptic station)

A. Asgari¹, A. Darzi-Naftchali^{*2}, M. Nadi³ and S.F. Saberali⁴

Introduction

In recent decades, increasing greenhouse gas emissions into the atmosphere have caused global warming and climate change. Suitable prediction of climatic parameters is considerably important for adapting to climate change and mitigating vulnerabilities in local scales. Simulating climate variables in future periods requires awareness of the status of greenhouse gas emissions. In this regard, the use of emission scenarios which involve socio-economic status and emissions of greenhouse gases in the atmosphere can help to predict climate change in different parts of the world. However, proper prediction of climate variables is very important to adapt to climate change and to reduce related vulnerabilities. Mazandaran province has a vital role in the national gross production and food security of the country. Therefore, it is necessary to study the weather condition under global warming in the future on the agricultural situation of the province. In current study, an effort was made to study the changes in solar radiation and temperature by analyzing the concepts of pessimistic and optimistic scenarios in order to consider its effects on the leading challenges in the agricultural system of the province.

Methodology

In current research, for climate change assessment, the CanESM2 model in the 5th IPCC report and statistical downscaling model (SDSM) was used under three scenarios: RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5. The input data were minimum and maximum temperature and solar radiation of Gharakheil synoptic station in Ghaemshahr and NCEP data (National Environmental Prediction Center) for the base period (1984-2005). Sunshine hours were converted to solar radiation using adjusted Angstrom formula for climate condition of the north of Iran. Future climate scenarios were then developed for early-future (2011–2040), medium-future (2041-2070) and late-future (2071-2100). Correlation coefficient, standard error and Durbin-Watson statistics were used to evaluate the performance of predictor indicators in calibration of statistical downscaling model.

Discussion and conclusion

According to the results, the SDSM model had an acceptable accuracy in predicting the minimum and maximum temperatures for Gharakheil synoptic station. Therefore, it can be used to predict these temperature variables under RCPs scenarios in the CanEMS2 model. However, the accuracy of the model in the months of autumn, winter and spring was higher than that in months of summer. The minimum and maximum differences in measured and simulated temperatures were 0.11 ° C in spring

¹. PhD student in Irrigation and Drainage Engineering, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ahmad_asgari56@yahoo.com

². Associate Professor, Water engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (corresponding Author), abduallahdarzi@yahoo.com (corresponding author)

³. Assistant Professor of Water engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, mehdi.nadi@gmail.com

⁴. Assistant Professor of Horticulture Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, High Educational Complex of Torbat-e Jam, khorasan Razavi, Iran. sf.saberali@yahoo.com



(April) and 2.29°C in summer (August), respectively. Also, the accuracy of the model in estimating solar radiation in spring and early summer months (April to July) was less than that in autumn and winter months. In general, according to the results, in all three periods, an increasing trend for climatic variables was observed in RCPs scenarios. The results showed that during these periods, solar radiation, maximum temperature and minimum temperature will increase by 4-9 %, 5-24% and 8-34% compared to the base period. The largest increases (5.3°C and 4.2°C for maximum and minimum temperatures respectively, and 1.3 Mj/m^2 for solar radiation) will occur during late future period under RCP8.5 scenario. Since temperature and radiation are the main affecting factors for crop growth and yield simulation, the planning is essential in order to choose the appropriate planting date to adapt to climate change in the study area. In this regard, for the study area, it is necessary to simulate crop growth and yield under climate change in order to develop adaptation strategies to climate change, such as choosing the suitable time for cultural practice, crop rotation, and adapting the appropriate date of cultivation for the production of important crops such as rice, citrus and oilseeds.

The most important references

Qian, B., Q. Jing, G. Bélanger, J. Shang, T. Huffman, J. Liu, and G. Hoogenboom. 2018. Simulated Canola Yield Responses to Climate Change and Adaptation in Canada. *Agronomy Journal*, 110(1): 133-146.

Rono, F. 2017. Statistical downscaling of future rainfall and temperature under different CanEMS2-RCP model scenarios. M.se Thesis, University of Nairobi, 75 pages.

Satari Yuzbashkandi, S. and S. Khalilian. 2019. On Projecting Climate Change on Soybeen Yield in Iran: and Econometric Approach. *Environmental Processes*, 1-15.

Zehtabian, Gh.r., A. Salajegheh, A. Malekian, N. Boroomand, and A. Azareh. 2016. Evaluation and comparison of performance of SDSM and CLIMGEN models in simulation of climatic variables in Qazvin plain. *Desert*, 21(2): 147-156.

Keywords: Angstrom formula, Climate change, CanEMS2