

مدلسازی تأثیر تغییرات اقلیمی بر پراکندگی مکانی کشت زعفران برای دوره‌های آینده (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)

مرتضی اسمعیل نژاد^{۱*} و عباس خاشعی سیوکی^۲

۱- استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

* نویسنده مسئول: [E-mail: esmailnejad.m@birjand.ac.ir](mailto:esmailnejad.m@birjand.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۱۰

چکیده

تغییرات اقلیمی پیامدهای مستقیم و غیرمستقیمی بر منابع آب، کشاورزی و محیط زیست دارد. اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که استان خراسان جنوبی نیز در آن قرار دارند نسبت به تغییرات اقلیمی حساس‌تر بوده و آسیب‌پذیری بیشتری دارند. بنابراین، استان خراسان جنوبی تحت تأثیر پیامدهای تغییرات اقلیمی و آثار آن در بسیاری از نقاط با توجه به وقوع و تداوم خشکسالی‌ها مشاهده شده است. با توجه به اینکه بیشتر معیشت روستاییان استان کشاورزی و از جمله کشت زعفران است، آگاهی از وضعیت آینده متغیرهای تأثیرگذار بر آن از جمله درجه حرارت برای برنامه‌ریزی‌های آتی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. این پژوهش به واکاوی تغییرات درجه حرارت طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۱۰۰ میلادی در استان خراسان جنوبی می‌پردازد. هدف اصلی از این مطالعه شناخت کانون‌های اصلی تغییر درجه حرارت و جابجایی‌هایی است که در پی آن در مناطق زیرکشت زعفران می‌باشد. روش کار در این پژوهش ارزیابی تغییرات درجه حرارت استان در حالت افزایش گازهای گلخانه‌ای است و با استفاده از مدل ترکیبی *MAGICC-SENEN* و با بکارگیری مدل‌های گردش عمومی اتمسفر *HADCM3* و *ECHO-G* تحت ۱۸ سناریوی تغییر اقلیم از جمله *A1B*، *A1* و *A2* برای دهه‌های آینده تا سال ۲۱۰۰ میلادی انجام گرفت. در این مطالعه دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۱ و ۲۰۱۰-۲۰۱۶ میلادی به ترتیب به عنوان دوره‌های گذشته و آینده انتخاب شدند. نتایج نشان داد در تمام پهنه استان برای دهه‌های آینده تغییرات درجه حرارت دارای روند افزایشی خواهد بود که این افزایش درجه حرارت از دهه ۲۰۲۵ شدیدتر می‌باشد. در برخی نواحی استان از جمله نواحی جنوبی و مرکزی ایران مقدار افزایش درجه حرارت از نواحی شمالی بیشتر خواهد بود. نواحی کشت زعفران در استان در دوره‌های آینده از حالت گسترده در شهرستان‌های سرابان، قاین، فردوس و اسدیه به صورت الگوی جزیره تغییر شکل خواهد یافت و دشت خضری و نیمبلوک سازگاری بیشتری با کشت زعفران در دوره آینده خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، درجه حرارت، سناریوهای اقلیمی، گاز گلخانه‌ای، مدلسازی اقلیمی.

مقدمه

تغییر اقلیم در عصر حاضر به عنوان مهمترین تهدید برای توسعه پایدار مطرح است که به منابع طبیعی، منابع پایه، محیط زیست، سلامت انسان، امنیت غذایی، فعالیت‌های اقتصادی و غیره بخش کشاورزی به سبب تعاملات گسترده و مستقیم با محیط، بیشترین تأثیر را از فرآیند پدیده تغییر اقلیم می‌پذیرد. امروزه اکثر طرح‌های زیست‌محیطی سعی بر شناخت تغییرات اقلیمی و کاهش اثرات آن دارند. اجرای طرح‌های عمرانی، اقتصادی، اجتماعی و غیره نیاز به شناخت تغییرات اقلیمی جهت برنامه‌ریزی صحیح و قابل قبول داشته و از این رو ضرورت و اهمیت مطالعات اقلیمی در کالبد برنامه‌ریزی خرد و کلان کشور و در مقیاس کوچک‌تر، استان و شهر قابل لمس است (Zanganeh et al., 2014).

اقلیم بیانگر متوسط دراز مدت پارامترهای هواشناسی نظیر درجه حرارت، رطوبت، بارندگی، نور و باد می‌باشد که پدیده‌ای ناپایدار بوده و هر ساله ثبات پایداری عملکرد گیاهان زراعی و سازگاری آنها را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Morison, 1984). کشورهایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند، نسبت به تغییرات اقلیمی بسیار حساس‌اند (Ifeanyi et al., 2012). تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی، موجب گسترش خشکسالی و تداوم آن می‌شود. همچنین، این تغییر سبب پراکندگی بارش می‌شود و بر منابع آب تأثیر می‌گذارد (Khosravi et al., 2010). در این میان، بخش کشاورزی وابسته‌ترین بخش به اقلیم است و اقلیم تعیین‌کننده اصلی مکان، منابع تولید و بهره‌وری فعالیت‌های آن است (Hosseini et al., 2013). تولیدات کشاورزی همیشه از تغییرات آب و هوایی منطقه‌ای و جهانی تأثیر می‌پذیرند.

مدل‌های اقلیمی و آب و هوایی، افزایش درجه حرارت متوسط سراسر جهان را با آثار گسترده بر درجه حرارت و بارندگی محلی پیش‌بینی می‌کنند. این تغییرات، در حال حاضر خطری برای تأمین مواد غذایی، معیشت کشاورزان و جوامع روستایی به شمار می‌روند و همچنین، به واکنش بخش کشاورزی به تغییر عملکرد و الگوی بهره‌وری هزینه‌های تولید و در دسترس بودن منابع وابسته‌اند. رفتارهای قابل تطبیق، به تولیدکننده اجازه می‌دهند تا هزینه‌های تغییر اقلیمی را کاهش دهد (Malcolm et al., 2012).

ارزیابی‌های آسیب‌پذیری و سازگاری فقط نیاز به اطلاعات جامع در مورد تغییرات اقلیمی اخیر ندارند، بلکه آنها به شرایط اقلیم منطقه‌ای آینده با بهترین مقیاس‌های ممکن از نظر مکانی و زمانی نیاز دارند. پیش‌بینی‌های اقلیمی و ارزیابی‌های تغییر اقلیم هنوز یک علم جوان است و با مشکلات زیادی از جمله انجام برآوردهای نرخ و سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها در دهه‌های آینده توسط کشورهای مختلف همراه است. گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی و محیطی ناشی از آن همچون ذوب شدن یخ و برف‌ها در نقاط مختلف کره زمین، بالا آمدن سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها، افزایش مخاطرات طبیعی (افزایش در شدت و فراوانی طوفان‌ها، سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها) و غیره می‌تواند برای حیات آینده انسان بر روی کره زمین آثار مخرب زیادی را به همراه داشته باشد. از این‌رو، بررسی شرایط اقلیمی حال و آینده برای مناطق مختلف دارای اهمیت می‌باشد. در واقع، افزایش درجه حرارت اتمسفر و درجه حرارت سطح اقیانوس‌ها می‌تواند منجر به افزایش میزان تبخیر گردد. این درحالی است که اتمسفر با درجه حرارت بالاتر، گنجایش رطوبتی بیشتری خواهد داشت و این امر نیز می‌تواند باعث افزایش شدت و انرژی طوفان‌ها در اقیانوس‌ها و مناطق ساحلی کره زمین گردد. در اثر تغییرات اقلیمی و گرم شدن هوا ممکن است مناطق جنگلی به سمت شمال جابجا شوند و جغرافیای کشاورزی در چنین مناطق حاشیه‌ای باعث تغییر مرز کشاورزی و تغییر مرز جنگل‌ها شود (Koocheki et al., 1998).

با توجه به آثار گسترده و متقابل اقلیم با بخش‌های مختلف تولیدی، عوامل زیست محیطی و جوامع انسانی، امروزه از تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی قرن ۲۱ یاد می‌شود که پیامدهای جدی اقتصادی به دنبال دارد (Reidsma et al., 2009). تغییرات اقلیمی پیامدهای مستقیم و غیرمستقیمی بر منابع آب، کشاورزی و محیط‌های زیست انسانی بر جای می‌گذارد. با توجه به اینکه آب و هوا تأثیر مستقیم بر کشاورزی دارد و این بخش سهم بالایی در تولید به‌ویژه در مناطق روستایی دارد، کشاورزی سهم بالایی در اقتصاد کشورهای در حال توسعه دارد و از ارتباطات گسترده‌ای با دیگر بخش‌های اقتصادی برخوردار است؛ ضمن اینکه خود

بر رشد یا استقرار علف‌های هرز و گیاهان زراعی در بوم‌نظام- های زراعی داشته باشد رقابت بین گیاه زراعی علف‌هرز را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. بنابراین ضرورت مطالعه و واکاوی تأثیرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و برنامه- ریزی‌های آن آشکار است.

جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh et al., 2015) با بررسی اثرات تغییر اقلیم روی نیاز آبی زعفران، با استفاده از خروجی چهار مدل و پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۲ و ۲۰۱۴-۲۰۴۰ میلادی به ترتیب به عنوان دوره پایه و آینده نشان دادند که مدل $CGCM_{47}$ تحت سناریوی $B1A$ از دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. همچنین تمامی مناطق مستعد استان در کشت زعفران در سال ۲۰۴۰ میلادی با افزایش نیاز آبی مواجه خواهند شد. آنها همچنین گزارش نمودند که تغییر اقلیم اثرات منفی روی نیاز آبی زعفران در استان خواهد داشت که پراکنش این افزایش در مناطق مختلف استان متفاوت است.

اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که کشور ما نیز در گروه آنها قرار دارد به تغییرات اقلیمی حساس‌اند و آسیب‌پذیری بیشتری دارند (Fisher et al., 1994). انتظار می‌رود تغییرات اقلیمی تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر بخش کشاورزی ایران داشته باشد. استان خراسان جنوبی از استان‌هایی است که پیامدهای تغییرات اقلیمی در آن آشکار است. از جمله این تغییرات می‌توان به تداوم خشکسالی‌های ۱۷ ساله استان خراسان جنوبی اشاره کرد.

زعفران به عنوان یکی از مهمترین محصولات استراتژیک در خراسان جنوبی و مناطق خشک و نیمه- خشک شرق کشور نیز از پیامدهای تغییرات اقلیمی در امان نخواهد بود. زعفران به دوره‌های حرارتی حساس است و بیشترین تأثیر را از تغییر اقلیم می‌گیرد. در مرحله القای گل‌دهی، مرحله اول نمو شکل می‌گیرد. دامنه درجه حرارت آن ۳۰-۱۰ درجه سانتی‌گراد، دامنه درجه حرارت بهینه ۱۵-۲۳ درجه سانتی‌گراد و درجه حرارت بهینه رشد آن ۱۸ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. در مقایسه با زعفران در اسپانیا، درجه حرارت بالاتری برای زعفران ایران نیاز است (Koocheki, 2011). در ایران اهمیت زعفران کاری از جنبه‌های گوناگون نظیر بهره‌وری بالای آب در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی، اشتغال روستاییان، جلوگیری از مهاجرت آن‌ها، درآمدزایی نسبت به سایر

یکی از منابع تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای است. مجموعه این ویژگی‌ها بخش کشاورزی را به محور اصلی بحث‌های سیاستی و پروژه‌های تحقیقاتی در سطح جهانی و ملی در بسیاری از کشورها تبدیل کرده است (Chang, 2003).

روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آینده وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی اتمسفر یا GCM می‌باشد (Samadi et al., 2011). از فراگیرترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده، استفاده از مدل‌های گردش عمومی اتمسفر است. این مدل‌ها، ابزاری قوی برای مطالعه و ارزیابی خطر تغییر اقلیم و بروز دوره‌های خشک، بارش‌های رگباری و وقوع سیلاب بوده و مبنای تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت علوم مختلف هستند (Semenov, 2010).

ریز مقیاس به عنوان یک عامل ایجادکننده ارتباط میان چرخه‌های بزرگ مقیاس (پیش‌بینی‌کننده‌ها) و متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی (پیش‌بینی‌شونده‌ها) تعریف شده است (Wilby, 2008). بعد از اینکه خروجی مدل‌های گردش عمومی اتمسفر به وسیله مدل‌های آماری و یا دینامیکی ریز مقیاس شدند، از این خروجی‌ها که به صورت یکسری داده‌های خام هواشناسی می‌باشند استفاده‌های زیادی می‌شود. این خروجی‌ها کاربردهای فراوانی دارد که یکی از این کاربردها بررسی و پیش‌بینی شرایط تغییر اقلیم در یک منطقه بر روی محصولات کشاورزی آن می‌باشد.

در خصوص اثر تغییر اقلیم بر کشاورزی نیز مطالعات زیادی در ایران و جهان انجام گرفته است. در قاره آفریقا، گرم شدن جهانی احتمالاً بطور منفی تولید محصولات غذایی اصلی (همچون برنج، گندم، ذرت، لوبیا و سیب زمینی) را تغییر می‌دهد. گندم و ذرت که با عرض‌های جنب حاره سازگار شده، ممکن است کاهش در محصول را در نتیجه درجه حرارت بالا متحمل شود و برنج ممکن است در نتیجه درجه حرارت‌های بالاتر در منطقه از بین برود (Pimentel, 1993; Muchena et al., 1995).

بنابراین، وجهه آشکارتر تغییرات اقلیمی را می‌بایست در مطالعه پدیده‌های حدی و نادر اقلیمی جستجو کرد که به خصوص بر بخش کشاورزی بسیار تأثیرگذارترند، هرگونه تغییر میزان دی‌اکسیدکربن با تغییر اقلیم که تأثیر جداگانه

1. General Circulation Model

محصولات کشاورزی همچنین از لحاظ توسعه صادرات غیرنفتی قابل بررسی است (Kafi et al., 2006). زعفران در استان خراسان جنوبی با معیشت صدها هزار خانوار کشاورز که با حداقل امکانات طبیعی و بارندگی‌های بسیار اندک سالیانه در روستاها مانده‌اند و به زندگی خود ادامه می‌دهند، گره خورده است. با توجه به چالش تغییرات اقلیمی در استان برای دوره‌های آینده آگاهی از پخش فضایی کشت زعفران در استان و تغییرات آبی با توجه به شرایط جدید اقلیمی، می‌تواند تصمیم‌گیران، برنامه‌ریزان و کشاورزان را برای شرایط کشت این محصول با توجه به فاکتورهای اقلیمی کمک نماید.

مواد و روش‌ها

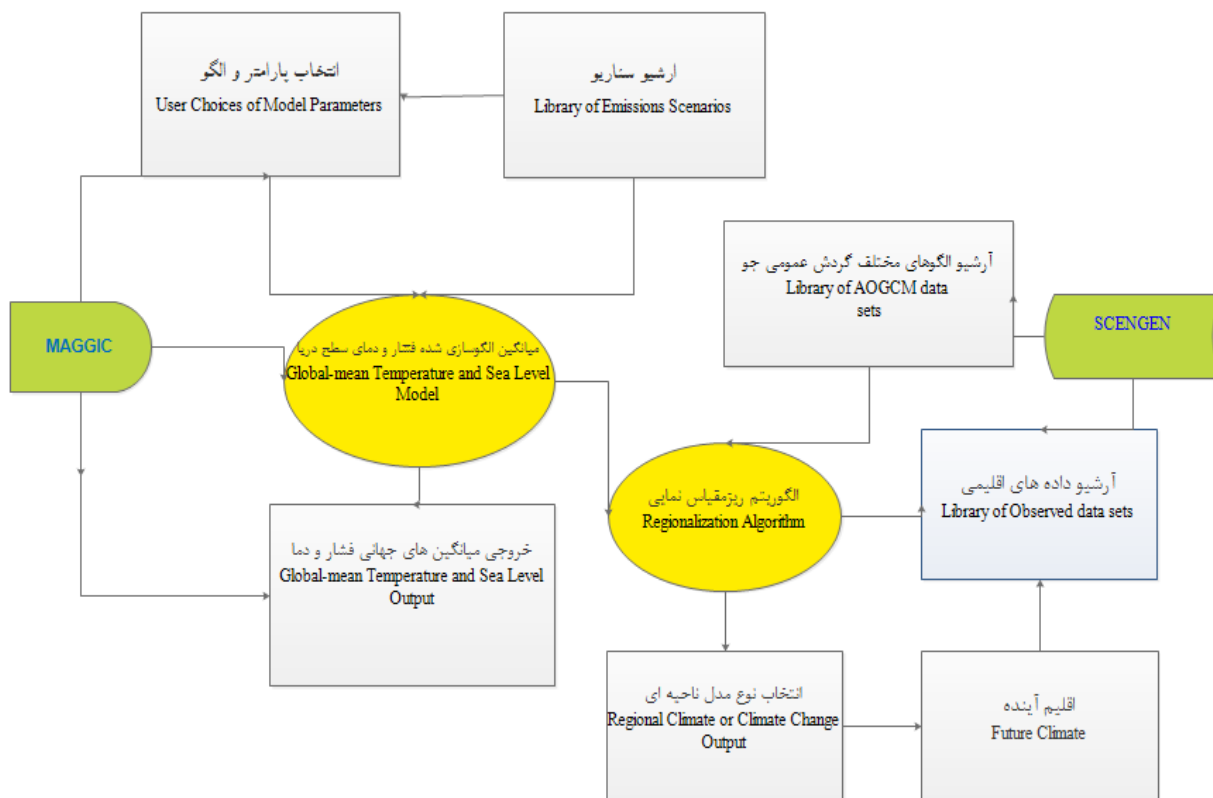
به منظور شبیه‌سازی وضعیت متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آبی نیاز به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آبی است. بدین منظور سناریوهای انتشار که در بر گیرنده اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین می‌باشند، توسط هیات بین‌الدول تغییر اقلیم توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) تدوین گردیدند (Abbasi & Asmari, 2010). از آنجایی که یکی از ضعف‌های الگوهای GCM¹ بزرگ بودن مقیاس مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد. بنابراین می‌بایستی خروجی آنها را توسط تکنیک‌های مختلف، کوچک مقیاس نمود (Samadi Massah Bovani et al., 1997). از این تکنیک‌ها می‌توان به MAGICC-SCENGEN و LARS-WG اشاره نمود. IPCC در سال ۲۰۰۰ میلادی سری جدیدی از سناریوهای انتشار را تحت عنوان برای ارائه در SRES₂ سومین گزارش ویژه سناریوهای انتشار تدوین کرد، گروه SRES سه خانواده سناریویی با نام‌های A₁ و A₂ و B₁ و B₂ را برای توصیف ارتباط بین فرایندهای تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای و آتروسل‌ها و نحوه تغییرات آنها طی قرن ۲۱ در مناطق مهم کره زمین به کار گرفت (Houghton et al., 1996; Harvey et al., 1997).

مدل MAGICC متوسط سالانه درجه حرارت هوای سطح زمین و متوسط سالانه درجه حرارت سطح دریا را از

1. General Circulation Model

ایران به ۴۳ پیکسل جغرافیایی تقسیم می‌گردد و پارامترهای مورد مطالعه برای هر کدام از این مناطق مدل‌سازی شده است (Roshan et al., 2011).

قدرت تفکیک ۲/۵ درجه قوسی می‌باشد و سه متغیر اقلیمی درجه حرارت، بارش و پوشش ابر را مدل‌سازی می‌کند. با توجه به اینکه ایران بین ۲۵-۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴-۶۳/۵ درجه طول شرقی قرار دارد، کشور



شکل ۱. الگوی MAGICC-SCENGEN در دو بخش
 Fig. 1. MAGICC-SCENGEN pattern in two sections

جدول ۱. موقعیت و ابعاد شبکه محاسباتی در مدل MAGICC-SCENGEN برای ایران
 Table 1. The location and size of grid computing model of MAGICC-SCENGEN for Iran

منطقه Region	طول جغرافیایی (E) Longitude	عرض جغرافیایی (N) Latitude
1	50-55	35-40°
2	55-60	35-40°
3	60-65	35-40°
4	50-55	30-35°
5	55-60	30-35°
6	60-65	30-35°
7	50-55	25-30°
8	55-60	25-30°
9	60-65	25-30°

(Abbasi, 2010)

بنابراین، تغییرات آن از مشهد به سمت شمال خراسان می‌رود؛ یعنی قسمت جنوب خراسان در حال تبدیل به شمال خراسان بوده و به خاطر تغییر اقلیم به این سمت شیف‌ت داده شده است. به همین دلیل بسیاری از محصولات فرم رویش و نوع گونه‌های گیاهی در حال تغییر است (Koocheki, 2015).

با افزایش درجه حرارت سرعت نمو بشدت کاهش می‌یابد. اگر درجه حرارت 2°C افزایش یابد و مثلاً از آبان که قرار است شروع شود، و به آذر می‌رسد و با دمای بیشتر اصلاً گل نمی‌دهد. در بحث مکان هم وضع همین گونه است. در تربت حیدریه زودتر به گل می‌رسد؛ چون سردتر است؛ به سمت بیرجند که می‌رود، دیرتر گل می‌دهد. حال از بیرجند شروع کرده؛ که دیر گل بدهد یا اصلاً گل ندهد.

جدول ۲. تاریخ پیش‌بینی مرحله گلدهی زعفران بر حسب افزایش دما

Table 2. Predicted time for flowering stage of saffron based on increase in temperature

افزایش درجه حرارت ($^{\circ}\text{C}$) Increase in temperature	تاریخ پیش‌بینی شده گلدهی Date of predict of flowering	
	حداقل Minimum	حداکثر Maximum
0.5	۲۸ مهر October 20	۱۰ آبان November 1
1	۱۲ آبان November 3	۲۳ آبان November 14
1.5	۲۵ آبان November 16	۷ آذر November 28
2	۱۹ آذر December 10	۲۲ آذر December 12

زیرزمینی یا کوتاه کردن دوره‌های آبیاری مدیریت کرد، اما تأثیرات ناشی از افزایش درجه حرارت، اجتناب‌ناپذیر و نوسان‌های آن تأثیرگذارتر است. علاوه بر این، درجه حرارت بر کلیه فرآیندهای شیمیایی، فیزیکی و فیزیولوژیک گیاه تأثیرگذار است (Koocheki & Soltani, 1998). تحلیل و ارزیابی تأثیرات ناشی از تغییرات این شاخص‌ها بر روی کشاورزی می‌تواند بسیار متنوع باشد. این کاهش می‌تواند دارای آثاری منفی شامل عدم تأمین نیاز سرمایی درختان یا عدم کنترل و از بین بردن آفات زراعی باشد. میانگین درجه حرارت ریزمقیاس‌نمایی شده خروجی دو الگوی گردش عمومی اتمسفر *HadCM* و *ECHAM* توسط الگوهای آماری مدل *Magic* با درجه حرارت پایه خراسان جنوبی برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۰ میلادی مقایسه گردید.

نتایج و بحث

اقلیم بر کشاورزی به صورت مستقیم و غیرمستقیم تأثیر می‌گذارد و اثر عمده تغییر اقلیم بر کشاورزی تا حدود زیادی بستگی به دو متغیر درجه حرارت و بارندگی دارد. اثرات بالقوه تغییر اقلیم، توأم یا تجمعی است که حتی به وقوع نتایج وخیم‌تر از پیش‌بینی یکایک عناصر اقلیمی مدل‌ها نیز منجر می‌شود. بنابراین، برای تعدیل آثاری و مدیریت صحیح تغییرات اقلیمی، داشتن یک شناخت جامع کمی و کیفی از میزان تغییرات توأم همه متغیرها ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به آب و هوای خشک و نیمه‌خشک استان خراسان جنوبی، بخش کشاورزی کاملاً وابسته به منابع آب‌زیرزمینی است. در حقیقت، نوسان‌های بارش و مواجه شدن با دوره‌های تنش آبی را می‌توان با برداشت بیشتر از سفره‌های

جدول ۳. پیش‌بینی تغییرات درجه حرارت برای دوره‌های آینده بر اساس انواع سناریوها

Table 3. Predictions of future temperature based on scenarios

سال Year	2000	2025	2050	2075	2100
<i>B₁AIM</i>	2.44	1.2	2.5	3.5	4
<i>B₁AIM</i>	2.444	1	2.4	3	3.9
<i>B₁ASF</i>	2.44	1.1	3.1	4.1	4.2
<i>A₁ASF</i>	2.44	1.3	3.2	4.3	4.5
<i>A₁MES</i>	2.44	1	2.7	3.9	4.4
<i>A₁B-AIM</i>	2.44	1.2	2.4	3.4	3.9
<i>WRE₄₅₀</i>	2.4	0.9	1.9	2.5	2.8
<i>WRE₅₅₀</i>	2.44	0.8	2.1	2.9	3.5

برای مناطق استان خراسان جنوبی، بیانگر این نکته است که میانگین درجه حرارت در سراسر استان طی دهه‌های آینده روند افزایشی خواهد داشت که این روند افزایش درجه حرارت برای برخی مناطق مقادیر بالاتر و برای برخی مناطق مقادیر کمتری را نشان می‌دهد. بیشترین افزایش درجه حرارت بر طبق سناریوهای مختلف مربوط به دهه ۲۱۰۰ می‌باشد (جدول ۴).

نتایج خروجی مدلسازی برای دهه‌های ۲۰۴۰ تا ۲۱۰۰ عنوان متوسط دهه‌های آتی تا پایان قرن ۲۱ ارائه شده است. خروجی مدل نشان می‌دهد روند افزایشی درجه حرارت هوا به طور متوسط در دهه‌های آینده ادامه خواهد داشت. متوسط درجه حرارت استان خراسان جنوبی در دهه ۲۰۴۰ به ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد، در دهه ۲۰۷۰ به ۱۹ درجه سانتی‌گراد و در پایان سده حاضر به ۱۹/۶ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. نتایج حاصل از تمامی سناریوها

جدول ۴. مدلسازی تغییرات درجه حرارت با استفاده از Magic

Table 4. Modeling temperature changes by using Magic

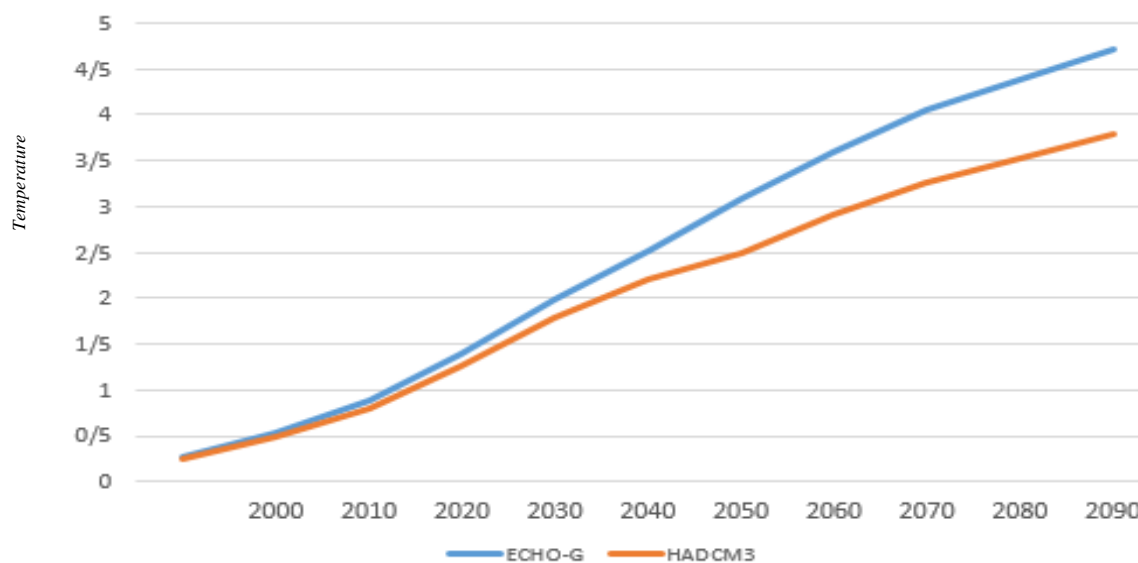
بازه زمانی Time period	تغییرات درجه حرارت (°C) نسبت به ۱۹۹۰-۱۹۶۰ Temperature changes rather than difference in 1990-1960		
	2040	2070	2100
دسامبر، ژانویه و فوریه <i>December, January, February</i>	1.02	2.42	2.89
مارس، آوریل و می <i>March, April and May</i>	1.58	2.87	3.63
ژوئن، ژوئیه و اگوست <i>June, July and August</i>	1.92	3.01	4.23
سپتامبر، اکتبر و نوامبر <i>September, October and November</i>	1.31	2.35	3.37

مناطق مقادیر کمتری را نشان می‌دهد. بیشترین افزایش درجه حرارت بر طبق سناریوهای مختلف مربوط به دهه ۲۱۰۰ می‌باشد. در روند گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی ناشی از آن، نواحی جنب حاره و خشک دنیا مانند ایران با

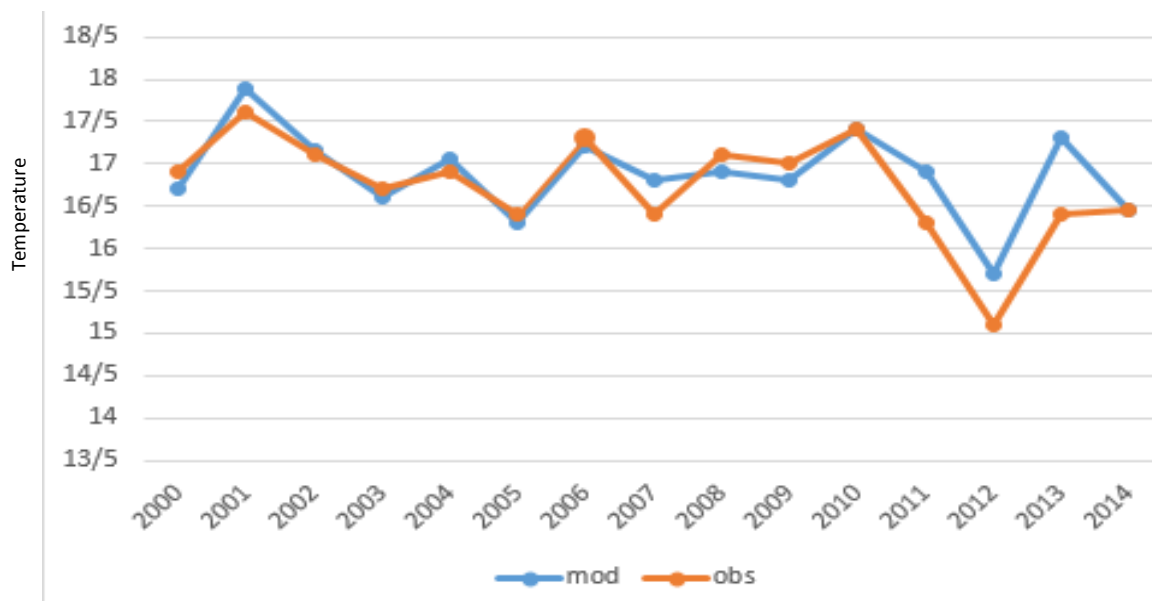
با توجه به نتیجه تمام سناریوهای مورد استفاده در دهه‌های آینده برای مناطق خراسان جنوبی روند درجه حرارت به صورت افزایشی خواهد بود. این روند افزایش درجه حرارت برای برخی مناطق مقادیر بالاتر و برای برخی

درجه حرارت در محیط‌های مختلف و شرایط اقلیمی گوناگون پیامدهای متضادی را به دنبال خواهد داشت که محتمل‌ترین آنها در بخش کشاورزی منجر به افزایش طول فصل رشد و ازدیاد تولید محصولات کشاورزی در مناطق سرد کوهستانی و بالعکس کاهش سطح تولید در مناطق گرمتر، بویژه در مناطقی که در حالت انتقالی و حاشیه‌ای قرار دارند، خواهد شد (Shaemi Barzuki, & Habibi, 2009). مهمترین پیامد تغییر اقلیم پدیده‌های حدی می‌باشد که منجر به رخداد حدی‌های اقلیمی مانند تنش‌های سرمایی و گرمایی می‌شود. حدی‌های دمایی مانند فراوانی دماهای بیشینه و دماهای کمینه، محصول رخداد تغییر اقلیم در یک منطقه می‌باشد. با توجه به خروجی مدل $ECHO-G$ و $HADCM3$ و مقایسه آنها درجه حرارت در دوره آینده در استان خراسان جنوبی افزایش می‌یابد. این افزایش از ۰/۸ به ۴/۵ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۱۰۰ میلادی خواهد رسید (شکل ۱). از سال ۲۰۵۰ میلادی درجه حرارت روند افزایشی بیشتری را نشان می‌دهد. مدل $ECHO-G$ نسبت به مدل $HADCM3$ افزایش درجه حرارت بیشتری را برای استان نشان می‌دهد. این دو مدل تا سال ۲۰۳۰ میلادی روند یکسانی را مدلسازی کرده‌اند و از سال ۲۰۳۰ میلادی به بعد تغییرات محسوسی در مدلسازی درجه حرارت بین دو مدل مشاهده می‌گردد.

کاهش بارش و افزایش شدت خشکسالی‌ها مواجه خواهند بود. این درحالی است که نواحی عرض‌های بالا و میانه دارای زمستان‌های معتدل‌تر و مرطوب‌تر خواهند بود. در واقع، افزایش درجه حرارت باعث افزایش رطوبتی در هوای این نواحی خواهد شد. این افزایش ظرفیت رطوبتی باعث افزایش حجم بارش‌ها برای نواحی عرض‌های بالا و میانه خواهد بود. جنوب خراسان جنوبی در ایستگاه‌های نهبندان، شوسف افزایش درجه حرارت تا ۲۱۰۰ میلادی در همه مدل‌ها آشکار شد. مناطق شمالی استان از جمله قاینات و فردوس و بیرجند هرچند نسبت به مناطق جنوبی کمتر ولی افزایش درجه حرارت قابل توجهی را تجربه خواهند نمود. در بین سناریوهای مورد استفاده بیشترین مقدار افزایش درجه حرارت در دهه ۲۱۰۰ مربوط به سناریوی $AIASF$ برای جنوب استان به میزان ۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میزان افزایش درجه حرارت در پهنه استان تا دهه ۲۰۲۵ بر طبق سناریوهای مختلف ناچیز می‌باشد، به طوری که در دهه ۲۰۲۵ برای تمامی سناریوها میزان افزایش درجه حرارت با یکدیگر برابر می‌باشد. بعد از دهه ۲۰۲۵ میزان افزایش درجه حرارت برای تمام سناریوها قابل توجه بوده و دهه ۲۱۰۰ دارای بیشترین میزان افزایش درجه حرارت است. تحت شرایط معمولی عموماً با افزایش دما، سطح تشعشع افزایش می‌یابد و مصرف آب بالا می‌رود. البته، افزایش



شکل ۱. روند تغییرات دهه‌ای درجه حرارت در استان خراسان جنوبی با استفاده از مدل‌های $ECHO-G$ و $HADCM3$
 Fig. 1. The changing trends of annual mean temperature per decade for South Khorasan province by using $ECHO-G$ and $HADCM3$ models



شکل ۲. شبیه‌سازی تغییرات درجه حرارت برای دوره‌های آینده در استان خراسان جنوبی در مقایسه با درجه حرارت مشاهداتی با استفاده از مدل $HADCM_3$

Fig. 2. Predictions of future temperatures compared with observed temperatures for South Khorasan province by using $HADCM_3$ model

فردوس، سراوان و آیسک را به مناطق شمالی‌تر جابجا نماید (شکل ۶). تحلیل و ارزیابی تأثیرات ناشی از تغییرات این شاخص‌ها بر روی کشاورزی می‌تواند بسیار متنوع باشد. برای مثال، کاهش طول دوره یخبندان می‌تواند و افزایش درجه حرارت در بیشتر نقاط استان آثاری مثبتی در جهت افزایش طول دوره برخی محصولات زراعی داشته باشد و از طرف دیگر، این کاهش می‌تواند دارای آثاری منفی شامل عدم تأمین نیاز سرمایی درختان و محصولات زراعی از جمله زعفران یا عدم کنترل و از بین بردن آفات زراعی باشد. علاوه بر این، متغیرهای دیگری همچون تبخیر و تعرق، رطوبت هوا و خاک، باد، بارش و غیره بر محصولات کشاورزی تأثیرات قابل توجهی دارند که بدلیل محدودیت داده‌های خروجی مدل اقلیمی امکان ارزیابی این شاخص‌ها وجود نداشت. علی‌رغم اینکه سناریوهای پیش‌فرض برای اجرای هر دو مدل مذکور کاملاً یکسان بوده‌اند، با توجه به اینکه مراکز و دانشمندان مختلفی در تکوین و توسعه هر کدام از دو مدل مشارکت داشته‌اند، علت اصلی اختلاف در پاسخ‌ها به ساختار دینامیکی و طرح‌واره‌های فیزیکی و محاسباتی مختلف مورد استفاده در حل معادلات حرکت هوا مرتبط است. افزایش شدید درجه حرارت در دوره گرم سال که طی روند دهه‌های اخیر نیز مشخص شده و بر

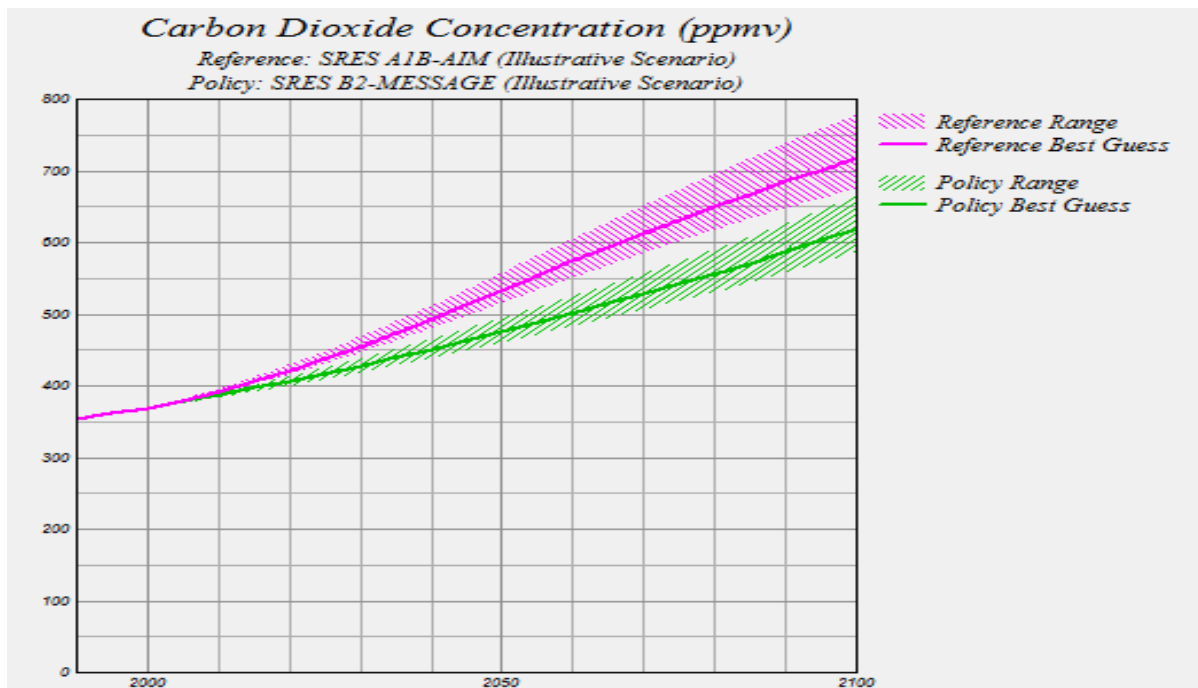
وضعیت دی‌اکسیدکربن در سناریوهای انتخابی

گازهای گلخانه‌ای که در این پدیده شرکت می‌کنند عبارتند از: بخار آب (H_2O)، دی‌اکسیدکربن (CO_2)، کلروفلوئوروکربن‌ها ($CFCs$)، ازن (O_3)، متان (CH_4)، اکسید نیتروژن (N_2O)، پرفلوئوروکربن‌ها ($PFCs$) و هیدروفلوئوروکربن‌ها ($HFCs$). در این بین، دی‌اکسیدکربن بیشترین تأثیر را در گرم شدن دمای کره زمین دارد (UNEP, 2001). اوج دی‌اکسیدکربن بر اساس سناریوی A_1ASF در سال ۲۱۰۰ میلادی به میزان ۹۲۰ پی‌پی‌ام خواهد بود، در صورتی اوج دی‌اکسیدکربن به وسیله سناریو B_2ASF به میزان حدود ۷۵۵ پی‌پی‌ام می‌رسد. در مجموع این سناریوها بدبینانه بوده و با شرایط تولید دی‌اکسید ایران نزدیک می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵).

رشد و عملکرد گیاهان زراعی که احتیاجات انسان از جنبه‌های مختلف تأمین می‌کند، به شدت تحت تأثیر شرایط آب و هوایی یا اقلیم می‌باشد. پیش‌بینی درجه حرارت برای دوره‌های آینده در استان نشان داد که دماهای سازگار و مناسب برای انطباق با کشت زعفران به صورت جزیره‌ای در شمال استان و دشت خضری و نیمبلوک قرار خواهد گرفت. بیشتر پهنا استان درجه حرارت افزایش می‌یابد و می‌تواند کانون‌های کشت زعفران از جمله قاین،

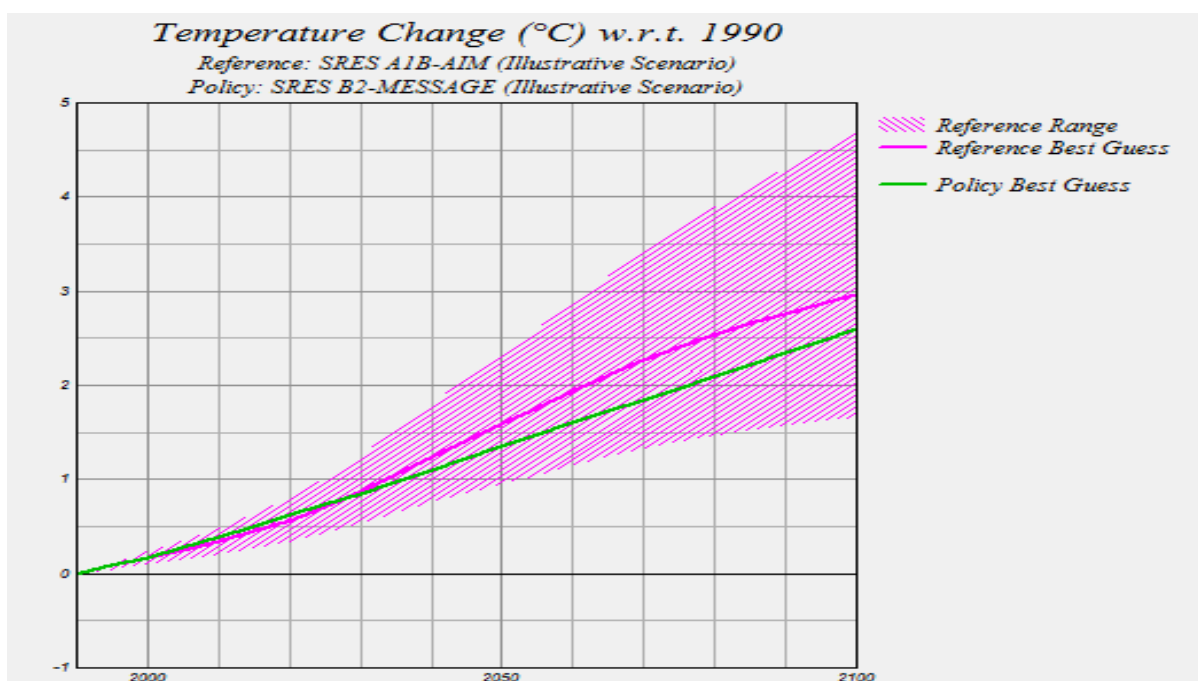
دسامبر، ژانویه و فوریه بیشترین تغییرات را در دمای متوسط سالانه نسبت به دیگر ماه‌ها از خود نشان می‌دهند. روند گرمایش در ماه‌های مارس، آوریل و مه نیز شدید و نگران‌کننده است.

اساس خروجی مدل بکار رفته نیز برای دهه‌های آینده پیش‌بینی می‌شود. روند افزایش درجه حرارت در تمام فصول به نسبت‌های مختلف رخ داده است که در این زمینه در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت بیشترین گرم شدن هوا نسبت به دهه‌های پیش از ۲۰۱۰ میلادی دیده می‌شود. ماه‌های



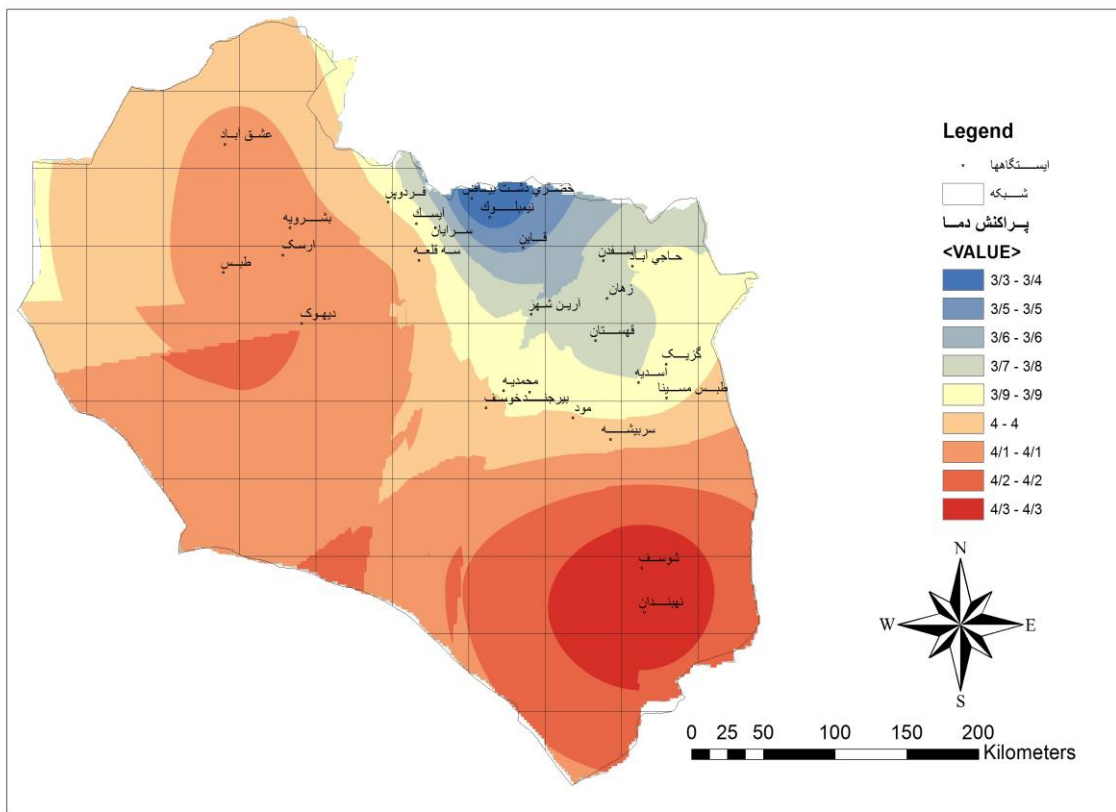
شکل ۴. روند تغییرات دی‌اکسید کربن طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۱۰۰ میلادی در استان خراسان جنوبی

Fig. 4. The changing trends of CO₂ during 2000-2100 years in South Khorasan province



شکل ۵. روند تغییرات درجه حرارت طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۱۰۰ میلادی در استان خراسان جنوبی

Fig. 5. The changing trends of temperature during 2000-2100 years in South Khorasan province



شکل ۶. پیش‌بینی درجه حرارت با استفاده از مدل *MAGICC SCENGEN* برای سال ۲۰۵۰ میلادی در استان خراسان رضوی

Fig. 6. Predictions of future temperature by using *MAGICC SCENGEN* model for 2050 year in South Khorasan province

نتیجه‌گیری

با به کارگیری این روش قدرت تفکیک افقی داده‌های مدل گردش عمومی اتمسفر از حدود ۲/۵ درجه جغرافیایی به ۰/۵ درجه جغرافیایی افزایش یافت. میانگین دمای ریز مقیاس‌نمایی شده خروجی دو الگوی گردش عمومی اتمسفر *HadCM2* و *ECHO-G* برای دوره پایه و دوره پیش‌بینی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی مقایسه گردید. نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌ها با استفاده از دو مدل *HADCM3* و *ECHO-G* با سناریوهای B_1 ، A_1B و A_2 نشان می‌دهد که درجه حرارت در سال‌های آینده تا سال ۲۱۰۰ میلادی در استان خراسان جنوبی رو به افزایش است. این افزایش را سناریوهای مختلف و مدل‌های پیش‌بینی تایید کردند، اما میزان این تغییرات درجه حرارت با استفاده از مدل $HADCM3$ و سناریوی A_1ASF به مقدار بیش از ۴/۵ درجه سانتی‌گراد بوده که در بین بقیه مدل‌ها و سناریوها بیشتر می‌باشد. در بین ۱۸ سناریوی پیش‌فرض

اقلیم بر کشاورزی به صورت مستقیم و غیرمستقیم تأثیر می‌گذارد و اثر عمده تغییر اقلیم بر کشاورزی تا حدود زیادی بستگی به دو متغیر درجه حرارت و بارندگی دارد. آثاری بالقوه تغییر اقلیم، تأثیرات توأم یا تجمعی است که حتی به وقوع نتایج وخیم‌تر از پیش‌بینی یک‌یک عناصر اقلیمی مدل‌ها نیز منجر می‌شود. بنابراین، برای تعدیل آثاری و مدیریت صحیح تغییرات اقلیمی، داشتن یک شناخت جامع کمی و کیفی از میزان تغییرات توأم همه متغیرها ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه از مدل *MAGICC-SCENGEN* برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های دو مدل گردش عمومی اتمسفر *ECHAM4* و *HadCM* با ۱۸ سناریوی اقلیمی مورد تأیید *IPCC* بر روی منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

1. Synergistic

بعد با روند شدیدتری افزایش درجه حرارت رخ خواهد داد. بنابراین، افزایش درجه حرارت با توجه به آستانه‌های مناسب برای کشت زعفران منجر به جابجایی کانون‌های امروزی کشت زعفران به عرض‌های شمالی‌تر می‌گردد.

این سناریو دارای بیشترین انتشار دی‌اکسیدکربن و دی‌اکسید سولفور در دوره ۲۱۰۰ می‌باشد. در الگوی HADCM3 بیشتر افزایش درجه حرارت در عرض‌های جنوبی استان با مرکزیت نهبندان رخ می‌دهد. میزان افزایش درجه حرارت تا سال ۲۰۲۵ کند، ولی از این دهه به

منابع

- Abbasi, F., and Asmari, M., 2010. Forecasting and Assessment of Climate Change over Iran During Future Decades by Using MAGICC-SCENGEN Model. *Journal Soil and Water*. (25), 70-83. [In Persian with English Summary].
- Chang, C.C., 2003. The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture. *Agricultural Economics*. 27, 51-64.
- Harvey, L.D.D., Gregory, J., Hoffert, M., Jain, A., Lal, M., Leemans, R., Raper, S.B.C., Wigley, T.M.L., and de Wolde, J., 1997. An introduction to Simple Climate models used in the IPCC Second Assessment Report: IPCC Technical Paper II (Eds. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, D.J. Griggs, and M. Noguer), Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, p. 50-75.
- Hosseini, S.S., Nazari, M., and Eraghi Nejad, S., 2013. Investigating the impacts of climate on agricultural sector with emphasis on the role of adaptation strategies in this sector. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*. 44(1), 1-16. [In Persian with English Summary].
- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg A., and Maskell, K., 1996. *Climate Change. The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, New York, p. 572.
- Jafarzadeh, A., Khashei-Siuki, A., and Shahidi, A., 2015. Modeling of climate change effects on saffron water requirement in south Khorasan province by GIS. *Journal of Saffron Research*. 3(2), 163-174. [In Persian with English Summary].
- Kafi, M., Koocheki, A., Rashed, M.H., and Nassiri, M., 2006. *Saffron Production and Processing*. Science Publishers, United States of America, 244 pp.
- Kattenberg, A., Giorgi, F., Grassl, H., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Stouffer, R.J., Tokioka, T., Weaver, A.J., and Wigley, T.M.L., 1996. *Climate models. Projections of future climate*. In: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* (Eds. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell), Cambridge University Press, New York, pp. 285-357.
- Khosravi, M., Esmael Nejad, M., and Nazari pour, H., 2010. Climate change and its impact on water resources in the Middle East. 4th international congress of the Islam world geographers, 14-16 April, Zahedan, Iran. [In Persian].
- Koocheki, A., 2015. *Workshop on Climate Change and Low-Carbon Technologies (Proceedings)*. Ministry of Agriculture, Ministry of Research, Education and Extension, Tehran, Iran. [In Persian].
- Malcolm, S., Marshall, E., Aillery, M., Heisey, P., Livingston, M., and Day-Rubenstein, K., 2012. Agricultural adaption to a changing climate, economic and environmental implications vary by U.S region. *Economic Research Report*, Number 136.
- Morison, J.I.L., and Gifford, R.M., 1984. Plant growth and water use with limited water supply in high CO₂ concentrations. I. Leaf area, water use and transpiration. *Australian Journal of Plant Physiology*. (11), 361-374.
- Muchena, P., and Iglesias, A., 1995. Vulnerability of maize yields to climate change in different farming sectors in Zimbabwe. In: Rosenzweig, C. (Ed.). *Climate change and agriculture: Analysis of potential international impacts*. pp. 229-239.
- Pimentel, D., 1993. *Climate change and food supply*. FO/11171 for Applied Research and Public Policy. (8), 54-60.
- Raper, S.C.B., Wigley, T.M.L., and Warrick, R.A., 1996. *Global sea level rise: Past and*

- future. In: *Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences and Strategies* (Eds. J. Milliman and B.U. Haq), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 11-45.
- Reidsma, P., Lansink, A.O., and Ewert, F., 2009. *Economic impacts of climatic variability and subsidies on European agriculture and observed adaptation strategies. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 14, 35.
- Samadi Massah Bovani, A., and Mahdavi, M.A., 1997. *The effectiveness of small scale Regressive River between the regimes. Technical Workshops. The Effects of Climate Change on Water Resources Management, Mashhad, Iran. [In Persian]*.
- Samadi, S., Ehteramian, K., and Sari Sarraf, B., 2011. *SDSM ability in simulate predictors for climate detecting over Khorasan province. Procedia Social and Behavioral Sciences*. 19, 741-749.
- Schimel, D.S., Grubb, M., Joos, F., Kaufmann, R.K., Moss, R., Ogana, W., Richels, R., and Wigley, T.M.L., 1997. *Stabilization of atmospheric greenhouse gases: physical, biological and socio-economic implications: IPCC Technical Paper III* (Eds. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, D.J. Griggs, and M. Noguer). *Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland*, p. 52.
- Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 2002. *LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0*.
- Semenov, M.A., Donatelli, M., Stratonovitch, P., Chatzidaki, E., and Baruth, B., 2010. *ELPIS: a dataset of local-scale daily climate scenarios for Europe. Journal of Climate Research*. (44), 3-15.
- Shaemi Barzuki, A., and Habibi Nokhandan, M., 2009. *Global warming: Biological and Ecological Consequences. Publication of Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 216 pp. [In Persian]*.
- UNEP., 2001. *United Nations Environment Programme: Introduction to Climate Change. Accessed April 17, 2001 from: www.grida.no/climate/vital/intro.html*.
- Wigley, T.M.L., 2003. *AGICC/SCENGEN 4.1: Technical Manual, National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA, October pp. 1-24*.
- Wilby, R.L., and Dawson, C.W., 2008. *Using SDSM version 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User Manual, p. 94*.
- Zanganeh, M., Alizadeh, A., and Shayan, A., 2014. *Analysis of climate parameters, temperature and rainfall Bojnoord city of 1977 to 2010. The First National Conference Meteorological, Tehran, Iran. [In Persian]*.



Modelling of Climate Change Impacts on Spatial Distribution of Saffron Cultivation for Future Years (A case study: South Khorasan Province)

Morteza Esmailnejad^{1*}, Abbas Khashei- Siuki²

1- Assistant Professor, PhD, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Dept. of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

*Corresponding author email: esmailnejad.m@birjand.ac.ir

Received 12 November 2016; Accepted 30 April 2017

Abstract

Climate change can have direct and indirect consequences on water resources, agriculture and environments. The effect of these changes will intensify in the coming decades. South Khorasan province is more sensitive to climate change. South Khorasan province was affected by the consequences of climate change and its effects in many places due to the occurrence and persistence of droughts have been observed. Agriculture is the most vulnerable sectors. Given that most rural livelihood is agriculture, including the cultivation of saffron. Knowledge of the future status of such variables influencing the temperature is very important for future planning. This study explores the changes in temperature until 2100 in South Khorasan Province deals. The main purpose of the identification of the main focuses of temperature change and displacement that followed in the cultivation of saffron. The method of this study was to evaluate temperature changes for greenhouse gas emissions and using the hybrid model MAGICC-SENEN and general circulation models of the atmosphere HADCM₃ and ECHO-G fewer than 18, including climate change scenarios A₁B, B₁ and A₂ for the next decade to 2100. The 1961-2000 years as the previous period and the period 2016-2100 were selected as future periods. The results showed that decades to come will be an increasing trend of temperature changes; the temperature increase is more since 2025. In some areas of the southern and central parts, including the northern region of the temperature rise would be higher. Saffron growing areas in the province in the coming period from spread in the city of Poets, Cain, and Asadiyeh Paradise Island deformation pattern will be more compatible with saffron and plain Nimbluk, Khezri and will in the coming periods.

Keywords: Climate change, Climate modeling, Climate scenarios, Greenhouse gas, Temperature.