

## دورنمای تأثیر گرمایش جهانی بر تغییرات درجه- روز مورد نیاز گندم برای خوشه‌های آب و هوایی مختلف ایران

غلامرضا روشن<sup>۱\*</sup>، روح ا. اوجی<sup>۲</sup>، محمد سعید نجفی<sup>۳</sup>، اسماعیل شاهکوئی<sup>۴</sup>

### چکیده

اگر چه عوامل اقلیمی متعددی بر رشد گیاه مؤثرند، لیکن درجه حرارت و میزان درجه- روز یکی از مهم‌ترین عوامل محسوب می‌شود. بنابراین شناخت صحیح از تغییرات این مؤلفه‌های اقلیمی برای تغییرات اقلیمی آینده امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ۹۲ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی، و ۱۲ پارامتر اقلیمی، کشور ایران به ۴ خوشه آب و هوایی تقسیم و تغییرات دو مؤلفه دما و درجه- روز برای دو مقیاس زمانی گذشته (۲۰۰۹-۱۹۶۰) میلادی و آینده (۲۰۷۵، ۲۰۵۰، ۲۰۲۵) میلادی مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته شد. جهت شبیه سازی تغییرات دما در دهه‌های آینده از مدل گردش عمومی INMCM-30 و سناریوی p50 که متوسط سناریوهای انتشار SRES است استفاده شده است. جهت اجرای مدل GCM مورد نظر، از نرم‌افزار MAGICC SCENGEN نسخه ۵،۳ استفاده شده است. نتایج تحقیق گویای تأثیر پذیری بیشتر دمای حداقل کشور نسبت به دیگر مؤلفه‌های دما از تغییرات افزایشی دی اکسید کربن جو می‌باشد. به گونه‌ای که در هر دهه‌ی گذشته از سال ۱۹۶۰ تا اواخر دهه ۲۰۰۰، میزان افزایش حداقل دما در ایران بطور متوسط ۰،۲۲+ درجه افزایش داشته است. همچنین داده‌های شبیه سازی شده دما نشان می‌دهد که تا سال ۲۱۰۰ به مقدار ۴،۲۵ درجه سلسیوس به میانگین درازمدت ۱۹۶۰-۱۹۹۰ دمای کشور افزوده خواهد شد که به تبع آن میزان درجه- روز کشور نیز فزایش خواهد یافت. مقایسه بین مقادیر داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی شده، گویای افزایش درجه-روز در اکثر نواحی کشور بالأخص خوشه‌های دوم و اول است. بعلاوه دلیل افزایش دی اکسید کربن و بدنبال آن گرمایش هوا و افزایش مقادیر درجه- روز در ماه‌های پاییز که حتی دیگر فصول سال نیز از آن مستثنی نیستند، به جای آغاز دوره کشت گندم پاییزه از اواسط و اوایل پاییز که این فرایند با کمی تغییرات در اکثر مناطق کشور دیده می‌شود، می‌توان مقداری این دوره را به جلو انداخت و آن را با در نظر گرفتن مناطق آب و هوایی مختلف به اواخر تابستان تغییر داد. اما این در زمانی کاربردی خواهد بود که به همین نسبت بر تعداد و مقدار روزهای بارش دوره آغازین کاشت افزوده شود.

**واژه‌های کلیدی:** سناریوهای انتشار، دوره رشد غلات، شبیه سازی، خوشه بندی، ایران.

<sup>۱</sup>. استادیار جغرافیا و اقلیم شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

<sup>۲</sup>. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

<sup>۳</sup>. دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و اقلیم شناسی، دانشگاه تهران، ایران.

<sup>۴</sup>. استادیار جغرافیا و اقلیم شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

\*. نویسنده مسئول: ghr.rowshan@gmail.com، ۰۹۱۷۱۳۵۰۳۰۵

**بیان مسأله :**

اثرات اقلیم بر کشاورزی بسته به مقیاس مکانی و زمانی آن متفاوت خواهد بود. در مقیاس طبقه‌های تکامل اکوسیستم‌های کشاورزی و تنوع آنها در جهان تابع اقلیم است، در حالی که در مقیاس کوچکتر تغییرات درون فصلی و بین فصلی در رشد و نمو گیاهان، توسط شرایط آب و هوایی کنترل می‌گردد. بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری کرد، که بروز هر گونه تغییر احتمالی اقلیمی در آینده، تولیدات کشاورزی را در سطوح مختلف دستخوش تغییرات جدی کرده و قادر خواهد بود نظام‌های زراعتی فعلی را که تحت شرایط اقلیمی رایج تکامل یافته‌اند، بطور قابل ملاحظه‌ای متحول سازند (نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۸۵، کوچکی و همکاران، ۱۳۸۷). میزان این تأثیر تابع مستقیمی از شدت تغییرات اقلیمی آینده خواهد بود. تردیدی نیست که در شرایط تغییر اقلیم، شاخص‌های اقلیمی کشاورزی نیز دستخوش تغییر شده و با ارزیابی تغییر این شاخص‌ها امکان بررسی واکنش گیاهان زراعی به شرایط اقلیمی آینده میسر خواهد شد (Türkeş, 1996: 464 and Ewert & Et al, 2005: 103). یکی از این شاخص‌های اقلیم کشاورزی که نقش عمده‌ای در مراحل تکامل و رشد گیاه بر عهده دارد، پارامتر درجه-روز مورد نیاز گیاه می‌باشد (Koocheki & et al, 2006: 248). به گونه‌ای که اگر این مؤلفه در هر مرحله‌ای از رشد در آستانه خاصی قرار نگیرد و کمتر و یا بیشتر از ظرفیت مورد نیاز گیاه باشد، گیاه یا رشد نکرده و به مرحله بلوغ نمی‌رسد و یا اینکه عوارض دیگری را بدنبال خواهد داشت که ممکن است به نابودی گیاه منتهی شود. لذا از آنجا که این مؤلفه نقش کلیدی در رشد گیاهان داشته، ضروریست که تغییرات این مؤلفه در بستر زمان مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون جوامع بشری به مواد غذایی بالأخص غلات، شناخت صحیح از تغییرات مؤلفه‌های آب و هوایی و اثرگذاری آنها بر شرایط فیزیولوژیکی گیاه و طول دوره رشد ضروری بنظر می‌رسد. بنابراین در این تحقیق به واکاوی روند تغییرات مؤلفه درجه-روز مورد نیاز گیاه گندم، از داده‌های مشاهداتی گذشته تا داده‌های شبیه‌سازی شده آینده پرداخته می‌شود. در راستای موضوع مورد مطالعه پژوهشگرانی چه در خارج (Prasad & et al, 2006) و چه در داخل کشور (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۵، نصیری محلاتی و همکاران، ۱۳۸۵) مطالعاتی انجام داده‌اند که نتیجه کلی از تمام این تحقیقات نشان دهنده‌ی تأثیرگذاری گرمایش جهان بر تغییرات طول دوره رشد گندم می‌باشد. در اکثر این تحقیقات با افزایش دما، بر مقدار درجه-روز افزوده شده و طول دوره بلوغ و رسیدگی محصول کوتاهتر شده است. با توجه به اینکه اکثر کشت گندم کشور در فصل پاییز آغاز می‌شود و همچنین وسعت موضوع از لحاظ خوشه‌های اقلیمی مختلف، دوره‌های آماری گذشته تا دهه‌های آینده، لازم گردید تا تمرکز بیشتر به تغییرات این دو مؤلفه دما و درجه-روز در فصل پاییز پرداخته شود و به تغییرات آب و هوایی دیگر فصول، نگاهی اجمالی شود.

**روش تحقیق (مواد و روشها) :****خوشه‌بندی ایستگاه‌های مطالعاتی :**

تنوع توپوگرافی بسیار زیاد ایران سبب گردیده که این کشور از تنوع اقلیمی مختلفی برخوردار باشد. برای شناسایی بهتر تغییرات روند مؤلفه‌های آب و هوایی مورد نظر که شامل دما و مقدار درجه-روز می‌باشد، کشور ایران را به چند خوشه اقلیمی تقسیم نموده و در نهایت تغییرات این مؤلفه‌ها را برای هر خوشه اقلیمی خاص، تجزیه و تحلیل گردید. برای این مقصود از فرایند تحلیل خوشه‌ای بر اساس مؤلفه‌های تأثیرگذار در تنوع آب و هوایی استفاده گردیده و سعی بر آن شد تا ایستگاه‌های مطالعاتی به گونه‌ای انتخاب گردند که نماینده تمام تنوع اقلیمی بوده و بتوانند پهنه‌ی کشور را مورد پوشش قرار دهند. لذا برای این منظور از میانگین درازمدت ۲۶ ساله که از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ می‌باشد، استفاده شده است. بر اساس دوره زمانی پیشنهادی، حدود ۹۲ ایستگاه انتخاب گردید. در این خوشه بندی، از مؤلفه‌های آب و هوایی ۱۲ ماه، پارامترهای حداقل و حداکثر دما و رطوبت نسبی، مقادیر ساعت آفتابی، تعداد روزهای یخبندان، مقادیر بارش ماهانه، مقادیر بارش‌های ۲۴ ساعته، روزهای با بارش بالاتر از ۱۰ و ۵ میلی‌متر و سرعت متوسط باد استفاده شده است. بنابراین مقادیر مربوط به هر کدام از مؤلفه‌ها، برای هر دوازده ماه سال در نظر گرفته شده که در نهایت یک ماتریس  $92 \times 132$  تهیه و تنظیم گردید که عدد ۹۲ نمایانگر تعداد

ایستگاه‌ها و عدد ۱۳۲ نشانگر تعداد متغیر یاد شده در ۱۲ ماه می باشد. روش انجام خوشه بندی آب و هوایی کشور بر اساس مراحل زیر می باشد:

الف): تهیه ماتریس داده‌های خام.

ب): محاسبه ماتریس داده‌های خام.

ج): تشکیل گروه بندی‌های ممکن و محاسبه فاصله اقلیدسی هر پارامتر با میانگین گروه خود.

د): ادغام گروه‌ها به روش کمترین واریانس (روش وارد) و تعیین گروه بندی نهایی.

ه): ترسیم دندوگرام که حاصل ادغام گروه‌ها در چندین مرحله است.

و): تعیین محل قطع کلاسترها و گروه‌های نهایی به دست آمده<sup>۱</sup>.

همانگونه که مشخص می باشد، تحلیل خوشه‌ای به سه دسته تحلیل خوشه‌ای دو مرحله‌ای، تحلیل خوشه‌ای K- میانگینو تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی تقسیم می شود و در این پژوهش از روش خوشه بندی سلسله مراتبی<sup>۲</sup> استفاده شده است.

**روندهای تغییر اقلیم:**

برای انجام این تحقیق از داده‌های هواشناسی ۹۲ ایستگاه همدید و کلیماتولوژی کشور استفاده شده است. مؤلفه‌های اصلی مورد مطالعه شامل متوسط ماهانه، فصلی و سالانه دما (حداکثر، حداقل و میانگین) و متوسط درجه- روز مورد نیاز گندم ایستگاه‌های مورد مطالعه برای دوره مطالعاتی (۱۹۶۰ تا ۲۰۰۹) می باشد. آزمون‌های روند به دو دسته پارامتری و ناپارامتری دسته بندی می شوند. پیش فرض آزمون‌های پارامتری آن است که داده‌ها تصادفی و برآمدهای یک توزیع نرمال باشند. در عین حال فرض نرمال بودن داده‌ها در آزمون‌های ناپارامتری وجود ندارد. بنابراین در صورتی که به نرمال بودن داده‌ها اطمینان نداریم، بکارگیری آزمون‌های ناپارامتری محتاطانه تر بنظر می رسد. با این حال برخی محققان نشان داده‌اند که تفاوت نتایج دو روش در مورد بسیاری از عناصر اقلیمی معنادار نیست (مسعودیان، ۱۳۸۵). در اینجا برای انجام آزمون روند دما فرض می شود که دما تابعی خطی از زمان است. بنابراین، مدل تغییرات به صورت زیر خواهد بود:

$$Temperature = \alpha + \beta Time$$

رابطه (۱)

روشن است که یک مقدار مثبت برای  $\beta$  نشانگر افزایش دما با زمان و یک مقدار منفی برای  $\beta$  نشانگر کاهش دما با زمان است. برای  $\beta=0$  فرض وجود روند تایید نمی شود. اما از آنجا که مقدار  $\beta$  نامعلوم است، یک برآورد از  $\beta$  با اطمینان ۹۵ درصد از رابطه زیر بدست می آید:

$$\hat{\beta} = \pm t_{0.025} \frac{S}{S}$$

رابطه (۲)

اگر حد بالا و پایین  $\beta$  که به این ترتیب بدست می آید هر دو مثبت باشند، فرض وجود روند افزایشی در دما رد نمی شود. اگر حد بالا و پایین  $\beta$  هر دو منفی باشند، فرض وجود روند کاهشی در دما رد می شود و اگر حد بالا و پایین مختلف علامه باشند فرض وجود روند تایید می شود.

**مدلهای تغییر اقلیم:**

در این تحقیق از مدل ترکیبی MAGICC/SCENGEN 5.3 برای شبیه سازی تغییرات اقلیم آینده استفاده گردیده است (Wigley, 1995 and 2010). این مدل از دو بخش اصلی MAGICC و SCENGEN تشکیل شده است که MAGICC مدلی برای ارزیابی تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای است که متشکل از مجموعه‌ای از مدل‌های ساده مرتبط به هم است. هر چند MAGICC یک مدل GCM نیست اما از داده‌های یکسری مدل‌های اقلیمی استفاده می کند تا رفتار مدل‌های GCM را بر روی مناطق مختلف جهان مدلسازی نماید. MAGICC متوسط سالانه دمای هوای سطح زمین و متوسط سالانه سطح دریا را از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و دی اکسید گوگرد محاسبه می کند. بعلاوه به کاربران

<sup>1</sup>. Sadeghi, 2002: 79; Degaetano & et al, 1990: 345; Johnson, 1998: 567; Groenewoud 1984: 390.

<sup>2</sup>. HCA (Hierarchical Cluster Analysis)

این امکان را می‌دهد که تغییرات در غلظت دی‌اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن و هالو کربنها و دی‌اکسید سولفور را تعیین کنند (Kont & et al, 2003; Roshan & et al, 2010).

در محاسبات انجام شده برای ایران از نتایج مدل گردش عمومی INMCM-30 برای شبیه‌سازی مؤلفه‌ی دما، همچنین از سناریوی واحدی بنام سناریوی P50 که میانگین سناریوهای سری SRES است، استفاده شده است. لازم به توضیح است که این مدل دارای قدرت تفکیک ۲/۵ درجه × ۲/۵ درجه می‌باشد. با توجه به قدرت تفکیک فوق و اینکه کشور ایران بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳/۵ درجه طول شرقی قرار دارد، به ۴۳ منطقه جغرافیایی تقسیم و تغییرات پارامتر دما، برای هر کدام از این مناطق مدلسازی شده است (Roshan & et al, 2011). لازم به ذکر است استانهای واقع در نوار غرب و شمال غرب کشور در محدوده با قدرت تفکیک ۲/۵ درجه قرار نمی‌گیرند. در آخر نتایج این مدل برای دما شبیه‌سازی گردیده و بعد از محاسبه مقادیر درجه-روز از مؤلفه دما، نتایج این خروجیها برای دهه‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و با نتایج دوره‌های مشاهداتی ۱۹۸۰ و ۲۰۰۵ مقایسه شده است. نکته آخر اینکه مقادیر شبیه‌سازی شده دما برای دهه‌های آتی، بر مبنای میانگین درازمدت ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ شبیه‌سازی می‌شوند.

#### معرفی رابطه پیشنهادی برای محاسبه درجه-روز مورد نیاز گندم:

برای محاسبه مقادیر درجه-روز مورد نیاز گندم از معادله (۳) استفاده شده است (Elliott & et al, 2009; Shakoore & et al, 2010; Allen 1976).

$$GDD = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{base} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این معادله GDD مقدار درجه-روز،  $T_{max}$  و  $T_{min}$  بترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه هستند. همچنین در معادله بالا  $T_{base}$  همان صفر فیزیولوژیکی گیاه است که با توجه به کارهای انجام شده در ایران مقدار آن را صفر درجه انتخاب شده است (مداح یزدی و همکاران، ۱۳۸۷، معینی و همکاران، ۱۳۸۷، صاری صراف و همکاران، ۱۳۸۸).

#### یافته‌های تحقیق:

##### پراکندگی ایستگاههای مطالعاتی در ۴ خوشه آب و هوایی پیشنهادی:

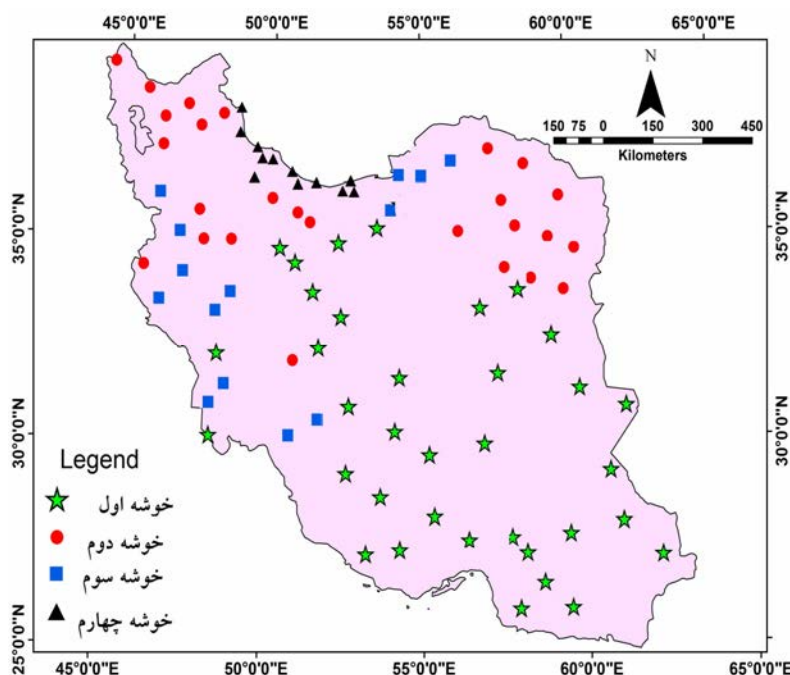
برای خلاصه‌سازی یافته‌های تحقیق سعی گردید تا از تکثر خوشه‌ها پرهیز و با توجه به دیدگاه کارشناسانه چهار خوشه معرفی گردد. این خوشه‌ها عبارتند از:

**الف) خوشه یک، ترکیبی از ایستگاههای واقع در نواحی خشک تا نیمه خشک مرکزی، جنوب شرقی و نواحی گرم سواحل جنوبی:** این خوشه بیشترین تعداد ایستگاههای مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. ایستگاههای آبادان، آباده، بم، بیرجند، اصفهان، فسا، فردوس، گرمسار، قم، کاشان، کرمان، خاش، نهبندان، سراوان، سمنان، شیراز، طبس، سیرجان، یزد، زابل، زاهدان، لار، سراب، خوربیاپانک، ساوه، اردستان، فریدان، شبانکاره، تسبیت، شوشتر، دزفول، دامغان و کلیقاه می‌باشند. از خصوصیات این خوشه آب و هوایی وجود ضریب تغییرات سالانه دما به میزان ۲۲ درصد و مقدار این ضریب تغییرات برای بارش سالانه ۴۷،۲۳ درصد می‌باشد. (شکل شماره ۱).

**ب) خوشه دوم، ترکیبی از نواحی سرد و خشک آب و هوایی شمال شرقی تا سرد و نیمه مرطوب شمال غربی:** ایستگاههای این خوشه آب و هوایی طیف وسیعی از ایستگاه آب و هوایی کشور را در بر می‌گیرند که از اینجمله می‌توان پارس آباد، تبریز، مراغه، جلفا، پیرانشا، مشیران، اردبیل، ابرقوه، ماکو، اهر، ارومیه، قروه، بیجار، سراب، همدان، شهرکرد، قوشچی، قزوین، مشهد، سرپل ذهاب، سرخس، الیگودرز، بجنورد، قوچان، کرج، تهران، خوی، سبزوار، شاهرود، تربت حیدریه، آملی، باغ کوثر قزوین، کنگار، گناباد، ارسک و بجستان (خراسان) را نام برد. در این خوشه آب و هوایی وجود ضریب تغییرات سالانه دما به میزان ۱۵ درصد و این میزان برای بارش سالانه به مقدار ۳۵ درصد محاسبه گردیده است. (شکل شماره ۱).

ج) خوشه سوم، ترکیبی از نواحی آب و هوایی مرطوب سواحل شرقی خزر تا نواحی مرطوب و کوهستانی (مرتفع) شمال و غرب کشور: ایستگاه‌های این خوشه آب و هوایی به نوعی مشخصه آب و هوای مدیترانه‌ای در آنها غالب می‌باشد که این ایستگاهها شامل گرگان، کلاله، یاسوج، ایلام، خرم آباد، بروجرد، سقز، کرمانشاه، سنندج و گنبدان می‌باشند. ضریب تغییرات سالانه دما برای این خوشه آب و هوایی میزان ۱۱٫۷۵ درصد و برای بارش سالانه ۳۰ درصد را نشان می‌دهد (شکل ۱).

د) خوشه چهارم، نواحی آب و هوایی مرطوب تا بسیار مرطوب سواحل شمالی کشور: ایستگاه‌های مورد مطالعه در این خوشه شامل نوشهر، قائم شهر، تنکابن، رامسر، بابلسر، آمل، رشت، لاهیجان، انزلی، پاسیخان و نهالستان در استان گیلان می‌باشند. در این خوشه آب و هوایی ضریب تغییرات سالانه دما به میزان ۹٫۵ درصد محاسبه گردیده، همچنین این ضریب برای بارش سالانه ۲۴ درصد است (شکل شماره ۱).



شکل ۱- پراکندگی ایستگاههای مطالعاتی در ۴ خوشه متفاوت آب و هوایی

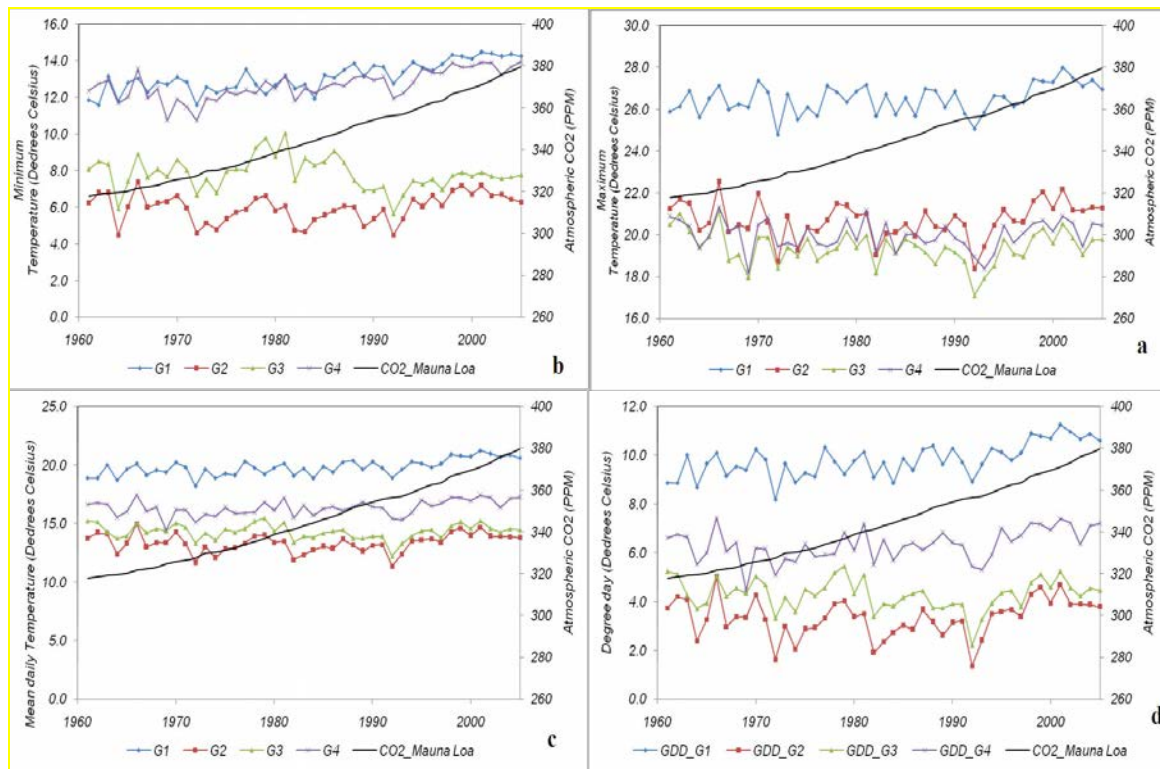
#### همبستگی روند تغییرات دما و درجه روز با افزایش مقدار $CO_2$ جهانی :

در این بخش با استفاده از روش همبستگی، به تحلیل تأثیرپذیری مؤلفه‌های دما و درجه-روز از مقادیر دی اکسید کربن جو در هر خوشه اقلیمی در کشور پرداخته شده است و تغییرات مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط سالانه دما، به همراه متوسط سالانه درجه-روز بروی نمودارهای جداگانه نشان داده شده است. لازم به ذکر است که منظور از مقادیر دی اکسید کربن جو، مقادیر اندازه‌گیری شده از ایستگاه Mauna Loa در جزایر هاوایی است، که بعنوان پاک‌ترین ایستگاه از لحاظ گازهای گلخانه‌ای شناخته شده است.

بررسی‌های انجام شده برای متوسط حداکثر دما با مقادیر دی اکسید کربن نشان می‌دهد که بجز خوشه اقلیمی شماره یک با  $r=0.39$ ، مابقی گروه‌ها از مقادیر معناداری برخوردار نبوده‌اند (شکل شماره 2a). اما این همبستگی برای حداقل دمای سالانه با دی اکسید کربن جو با مقادیر معناداری بیشتری همراه می‌باشد. این همبستگی برای خوشه اقلیمی شماره یک با  $r=0.83$ ، خوشه دو با  $r=0.24$ ، خوشه شماره چهارم با  $r=0.71$ ، اما این مقدار برای خوشه شماره سوم معکوس می‌باشد که مقدار آن  $r=-0.21$  محاسبه گردیده است. (شکل شماره 2b).

در محاسبه همبستگی تغییرات متوسط دمای سالانه با مقادیر سالانه دی اکسید کربن جو در ایستگاه Mauna Loa، فقط دو خوشه شماره یک با  $r=0.64$  و خوشه شماره چهارم با  $r=0.43$  از تغییرات معنادار نسبت به مقادیر دی اکسید کربن

جو برخوردار بوده‌اند. (شکل شماره 2c) در ادامه (شکل شماره 2d) تغییرات روند مقادیر درجه-روز مورد نیاز گندم در مقایسه با تغییرات مقادیر دی اکسید کربن نشان داده شده است و نشان می‌دهد که بیشترین روند افزایشی درجه-روز در خوشه شماره یک ( $r=0.68$ ) وجود دارد. اما در خوشه‌های دوم و سوم همبستگی معناداری بین درجه-روز و دی اکسید کربن وجود ندارد. در خوشه چهارم نیز، میزان  $r=0.43$  حاصل شده است. (شکل شماره 2d).



شکل 2 - روند تغییرات حداکثر (a)، حداقل (b)، روزانه (c) دمای سالانه و درجه-روز سالانه (d) مناطق اقلیمی مختلف ایران در مقایسه با مقادیر دی اکسید کربن در ایستگاه Mauna Loa. نمایه، G1 خوشه اقلیمی ۱، G2 خوشه اقلیمی ۲، G3 خوشه اقلیمی ۳ و G4 خوشه ۴.

در ادامه در جدول شماره ۱، مقادیر  $r^2$  برای دما در فصول و ماه‌های زمستان، بهار و تابستان ارائه شده است. در این جدول شبکه‌هایی که بصورت برجسته نشان داده شده‌اند به معنای روند کاهشی و منفی دما می‌باشند. بیشترین مقادیر معناداری افزایش حداقل دما برای خوشه اقلیمی شماره یک مشاهده می‌شود و بعد از این خوشه می‌توان به خوشه شماره چهار اشاره نمود. اما خوشه سوم، روند کاهش دما را برای مؤلفه حداقل دما نشان می‌دهد. در مجموع با توجه به تغییرات مؤلفه حداقل دما می‌توان بیان کرد که بیشترین روند افزایش حداقل دما بترتیب برای ماههای تابستان، بعد از آن بهار و در نهایت برای زمستان دیده می‌شود. در مقایسه با دیگر مؤلفه‌های دما (بیشینه و میانگین) تعداد ماه‌هایی که حداقل دما دارای روند افزایشی است، بیشتر از دیگر مؤلفه‌های دمایی است. برای حداکثر دما نیز، مجدداً این خوشه اقلیمی یک است که بیشترین روند افزایش دما برای آن مشاهده می‌شود و در رتبه دوم، خوشه سوم قرار دارد. در مجموع در فصل بهار، برای مؤلفه حداکثر دمایی تقریباً کاهش دما دیده می‌شود. اگر چه فقط تعدادی از این مقادیر دارای روند معنادار می‌باشند. در مقادیر متوسط دمای ماهانه، خوشه اقلیمی یک در مقایسه با دیگر خوشه‌ها، در تمام ماههای سال با روند معنادار افزایش دما همراه بوده‌اند و بعد از آن، این خوشه چهارم است که بیشترین روند افزایش دما را در مقایسه با دیگر خوشه نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر  $r^2$  محاسبه شده دما در ماههای زمستان، بهار و تابستان ۴ خوشه اقلیمی ایران. مقادیری که بصورت برجسته مشخص شده‌اند، گویای روند کاهشی دما می‌باشند. حداقل معناداری در سطح اطمینان ۹۰ درصد معادل  $(r=0.24, r^2=0.06)$  است.

شاخص	نوع خوشه اقلیمی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
متوسط حداقل دما ( $R^2$ )	خوشه شماره یک	0.25	0.14	0.17	0.56	0.48	0.66	0.64	0.57	0.55
	خوشه دوم	0.03	0.00	0.02	0.07	0.00	0.04	0.05	0.05	0.01
	خوشه سوم	0.01	0.02	0.06	0.01	0.33	0.24	0.02	0.00	0.00
	خوشه چهارم	0.15	0.04	0.07	0.20	0.13	0.26	0.39	0.47	0.39
شاخص	نوع خوشه اقلیمی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
متوسط حداکثر دما ( $R^2$ )	خوشه شماره یک	0.02	0.01	0.00	0.18	0.30	0.11	0.06	0.14	0.14
	خوشه دوم	0.01	0.01	0.00	0.14	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00
	خوشه سوم	0.02	0.00	0.01	0.03	0.59	0.59	0.09	0.01	0.01
	خوشه چهارم	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	0.03	0.01	0.03	0.01
شاخص	نوع خوشه اقلیمی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
متوسط روزانه دما ( $R^2$ )	خوشه شماره یک	0.12	0.08	0.09	0.33	0.30	0.53	0.47	0.34	0.37
	خوشه دوم	0.02	0.00	0.01	0.11	0.00	0.01	0.00	0.04	0.01
	خوشه سوم	0.02	0.02	0.01	0.00	0.06	0.04	0.01	0.00	0.02
	خوشه چهارم	0.04	0.02	0.02	0.08	0.00	0.03	0.08	0.26	0.16

ادامه جدول ۱- مقادیر  $r^2$  محاسبه شده دما برای فصول زمستان، بهار و تابستان در ۴ خوشه اقلیمی ایران. مقادیری که بصورت برجسته مشخص شده‌اند، گویای روند کاهشی دما است. حداقل معناداری در سطح اطمینان ۹۰ درصد معادل  $(r=0.24, r^2=0.06)$  می‌باشد.

شاخص	نوع خوشه اقلیمی	زمستان	بهار	تابستان
متوسط حداقل دما ( $R^2$ )	خوشه شماره یک	0.35	0.70	0.72
	خوشه دوم	0.00	0.09	0.05
	خوشه سوم	0.00	0.24	0.01
	خوشه چهارم	0.11	0.33	0.60
شاخص	نوع خوشه اقلیمی	زمستان	بهار	تابستان
متوسط حداکثر دما ( $R^2$ )	خوشه شماره یک	0.01	0.16	0.21
	خوشه دوم	0.01	0.02	0.00
	خوشه سوم	0.00	0.02	0.06
	خوشه چهارم	0.00	0.03	0.01
شاخص	نوع خوشه اقلیمی	زمستان	بهار	تابستان
متوسط روزانه دما ( $R^2$ )	خوشه شماره یک	0.17	0.52	0.55
	خوشه دوم	0.01	0.04	0.02
	خوشه سوم	0.00	0.05	0.01
	خوشه چهارم	0.04	0.05	0.29

اما از آنجائی که تغییرات دما و درجه- روز برای کشت گندم پاییزه، در فصل پاییز با اهمیت می‌باشد، تغییرات ماهانه و فصلی پاییز، بصورت جداگانه بحث و بررسی شده است. بررسی مقادیر ماهانه، فصلی و دهه‌ای دمای حداکثر در فصل پاییز نشان می‌دهد که ماه اکتبر در هر چهار خوشه، دارای روند صعودی و معنادار می‌باشد که از آغاز دهه ۹۰ میلادی، شتاب

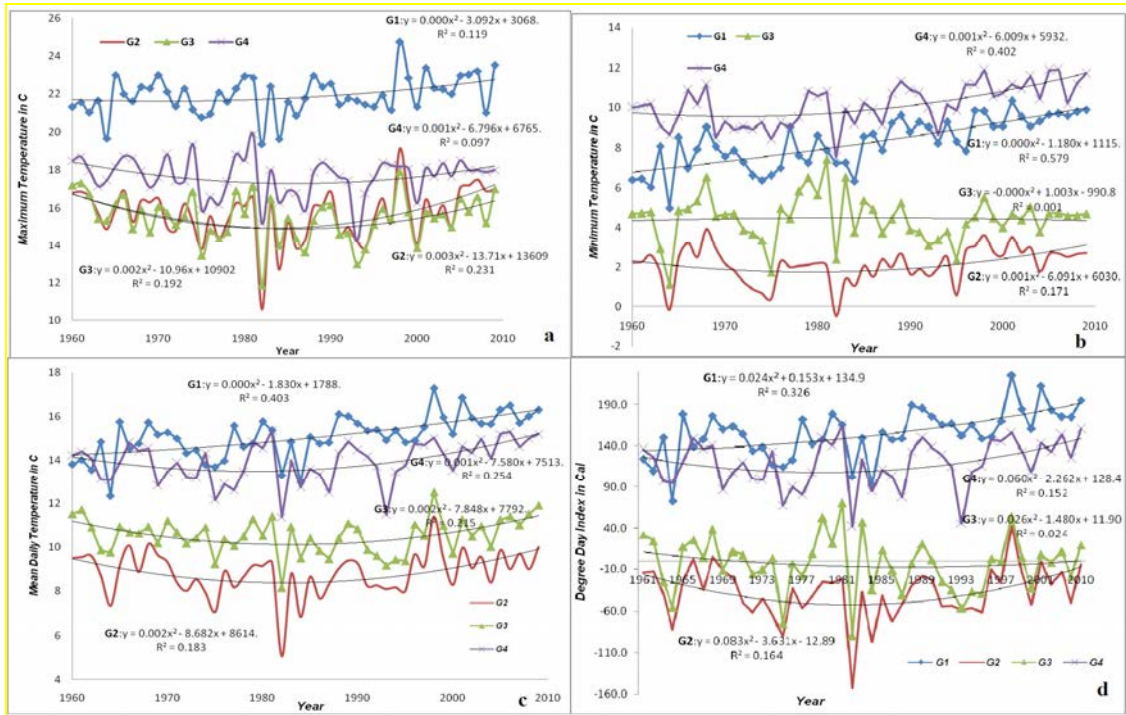
بیشتری بر خود گرفته است. در ماههای نوامبر و دسامبر روند معناداری مشخصی به چشم نمی‌خورد که به نظر می‌رسد مناطق چهارگانه بیشتر نوسانات دهه‌ای را تجربه نموده است. در مجموع دمای حداکثر فصلی نیز همانند دمای ماه اکتبر همزمان با آغاز دهه ۹۰ م. روند صعودی به خود گرفته و از تغییرات جهانی دما پیروی می‌کند. برای مقادیر حداکثر دما در فصل پاییز، بطور متوسط خوشه اقلیمی شماره یک با افزایش دما به میزان  $+0.21$  درجه سلسیوس در هر دهه و خوشه سوم با  $-0.09$  کاهش، بیشترین افزایش و کاهش دما را تجربه نموده‌اند که بطور متوسط برای کل کشور، این تغییرات  $+0.03$  سلسیوس افزایش دما برای هر دهه از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۹ برای فصل پاییز بوده است. در این بخش جهت خلاصه نمودن نمودارها، فقط به نمودار حداکثر، حداقل و متوسط دما و درجه-روز در فصل پاییز و برای ۴ خوشه اقلیمی اکتفا شده است. (شکل شماره 3a).

در بررسی انجام شده برای حداقل دما، در تمام ماهها در فصل پاییز، روند دماهای حداقل، در خوشه شماره یک، خوشه دوم و چهارم پیوسته مثبت و معنی‌دار است و حاکی از افزایش دما به میزان  $+0.26$  سلسیوس در هر دهه می‌باشد که در مجموع انتظار می‌رود که حداقل دما در این فصل در کشور از دهه ۶۰ تا اواخر دهه ۲۰۰۰، حدود  $1.5$  درجه سلسیوس افزایش یافته باشد. همچنین این افزایش دهه‌ای دما با میانگین  $+0.58$  سلسیوس در خوشه اقلیمی یک، از بیشترین مقدار خود نسبت به سایر خوشه‌ها برخوردار بوده است. لازم به یادآوریست، علاوه بر روند مثبت کلی دمای حداقل، شتاب افزایش روند دما همزمان با آغاز سرد غیرقابل چشم‌پوشی است (شکل شماره 3b). دمای میانگین نیز به تبعیت از دماهای حداکثر و حداقل فصل پاییز، در اکثر ماهها و مناطق چهارگانه دارای روند مثبت می‌باشد که این افزایش دما از دهه ۹۰ با شتاب بیشتری همراه بوده است. اما روند فصل پاییز فقط در دو خوشه اقلیمی یک و چهارم مثبت و معنادار می‌باشد. این افزایش دهه‌ای متوسط دما برای میانگین کل خوشه‌های اقلیمی کشور، حدود  $+0.16$  سلسیوس محاسبه شده است. (شکل شماره 3c). بیشترین افزایش دما در مؤلفه حداقل دما دیده می‌شود که بطور متوسط برای هر دهه از سال ۱۹۶۰ تا اواخر دهه ۲۰۰۰، بصورت  $+0.22$  درجه سلسیوس محاسبه گردیده که برای مؤلفه متوسط دمای سالانه کشور،  $+0.2$  درجه استخراج شده است.

همچنین با تأکید بر فصل پاییز، مقادیر دمای حداقل، حداکثر و متوسط در فصل پاییز در خوشه یک، دارای روند افزایشی بیشتری نسبت به دیگر مناطق بوده است. همچنین روند دهه‌ای این مؤلفه‌ها نشانگر روند صعودی دما، بعد از دهه ۹۰ میلادی یعنی همزمان با "آغاز سرد" تغییرات جهانی اقلیم، می‌باشد و در سراسر کشور، شتاب بیشتری به خود گرفته است. تغییرات روند مؤلفه درجه-روز، (شکل شماره 3d)، نشان می‌دهد که خوشه اقلیمی شماره یک با  $r=0.57$  معتبرترین روند افزایش درجه-روز را از دهه‌های گذشته تا کنون داشته است و خوشه چهارم با  $r=0.4$  در جایگاه بعدی، و بترتیب خوشه‌های اقلیمی دوم با  $r=0.39$  و خوشه سوم اقلیمی با روند تصادفی  $r=0.16$  در جایگاه آخر معناداری قرار دارند.

بنابراین، کلیه مناطق مورد بررسی حداکثر مقدار درجه روز را در سالهای اخیر تجربه کرد اند. خوشه شماره یک با دارا بودن بیشترین مقدار درجه روز رشد، بیشترین تغییرات را با روند صعودی، طی سالهای اخیر داشته و نتایج نشان دهنده روند معنی‌دار افزایشی طی ماههای فصل پاییز برای خوشه یک است.





شکل 3- روند مؤلفه حداکثر (a)، حداقل (b)، روزانه (c) دما و مقادیر درجه - روز (d) فصل پاییز برای چهارگانه اقلیمی ایران

از نظر افزایش میزان درجه روز، خوشه اقلیمی چهارم نیز در جایگاه بعدی قرار دارد. مناطق واقع در این خوشه روند افزایشی تقریباً منظم خود را بعد از دهه ۹۰ میلادی تجربه کرده‌اند و قبل از آن غالباً دارای نوسانات نامنظم می‌باشند. در مجموع می‌توان گفت که روند تغییرات دهه‌ای مؤلفه درجه-روز برای فصل پاییز بصورت میانگین از دهه ۱۹۶۰ تا اواخر دهه ۲۰۰۰ با گذشت زمان به میزان ۳٫۲ درجه-روز بوده است.

#### شبیه سازی مقادیر دما با استفاده از مدل گردش عمومی جو برای دهه‌های آینده :

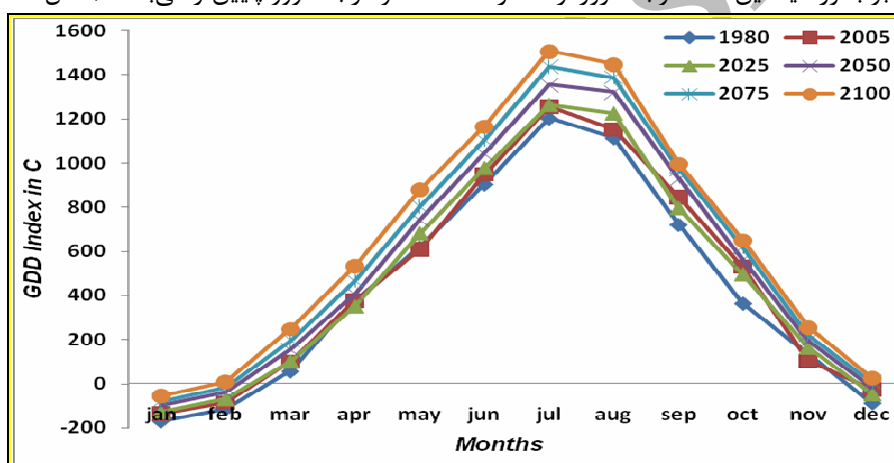
آنچه از مقادیر شبیه‌سازی شده متوسط دمای سالانه برای ۴۳ زون استخراج گردید، گویای افزایش دما حدود ۱ درجه سلسیوس در هر دوره شبیه سازی نسبت به دوره قبل می‌باشد. یعنی میانگین سالانه دما در سال ۲۰۲۵، ۱۹٫۰۳ و ۲۰۵۰، ۲۰٫۰۹ درجه سلسیوس، و برای سالهای ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ بترتیب ۲۱٫۰۳ و ۲۲٫۰۵ درجه سلسیوس شبیه سازی گردیده است. همچنین با تمرکز بر تغییرات دما برای میانگین ۴۳ زون مطالعاتی در فصل پاییز، مشخص می‌گردد که در هر سه ماه در فصل پاییز تغییرات دما افزایشی می‌باشد. بطوری‌که میانگین دما برای اکتبر ۲۰۲۵، عدد ۲۰٫۳۳ درجه و برای اکتبر سال ۲۱۰۰ عدد ۲۲٫۹۵ درجه سلسیوس شبیه سازی شده و این مقدار برای نوامبر ۲۰۲۵ عدد ۱۴٫۳۰ و برای سال ۲۱۰۰ به ۱۶٫۸۳ درجه سلسیوس منتهی می‌شود. تغییرات ماه دسامبر نیز از ۹٫۰۵ درجه برای سال ۲۰۲۵ تا ۱۱٫۰۹ درجه سلسیوس در سال ۲۱۰۰ شبیه سازی گردیده است. بنابراین با توجه به پیش فرض سناریوی p50 در زمینه افزایش دی اکسید کربن جو، می‌توان تغییرات قابل توجهی در زمینه افزایش مقادیر دماهای شبیه سازی شده نسبت به داده‌های مشاهداتی سالهای ۱۹۸۰ و ۲۰۰۵ مشاهده نمود.

در ادامه با توجه به اهمیت تغییرات دما در فصل پاییز برای کشت گندم پاییزه، مقایسه‌ای بین داده‌های شبیه سازی شده با داده‌های مشاهداتی و بین چهار خوشه اقلیمی انجام پذیرفت. در ماه اکتبر، روند منظم افزایش دما از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۱۰۰ بین تمام خوشه‌ها، بجز خوشه شماره چهار مشاهده می‌گردد. در مقایسه بین خوشه‌های مختلف، خوشه اقلیمی شماره یک بیشترین افزایش دما با ۵٫۷+ در مقایسه سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۸۰ را به خود تعلق داده است و کمترین افزایش دما با ۲٫۲+ در خوشه اقلیمی چهار مشاهده می‌شود. در ماه نوامبر نیز روند افزایشی متوسط دما در تمام خوشه‌ها مشهود

است. اما برای تمام خوشه‌های اقلیمی در سال ۲۰۰۵، یک کاهش دما نسبت به سال ۱۹۸۰ مشاهده می‌گردد. در مقایسه تغییرات دما بین خوشه‌های مختلف اقلیمی، همچنان بیشترین افزایش دما برای خوشه یک با ۵.۳ درجه سلسیوس در سال ۲۱۰۰ نسبت به دوره مطالعاتی ۱۹۸۰ مشاهده می‌شود و حداقل افزایش دما در سال ۲۱۰۰ نسبت به ۱۹۸۰، با ۳.۱ درجه سلسیوس در خوشه سوم اقلیمی رخ داده است. در نهایت در ماه دسامبر، روند منظم افزایش دما برای اکثر دوره‌ها قابل مشاهده می‌باشد. در این ماه، حداکثر تغییرات افزایشی دما در خوشه اقلیمی یک با ۴.۶ درجه سلسیوس در سال ۲۱۰۰ نسبت به ۱۹۸۰ دیده می‌شود و حداقل آن نیز با ۲.۶ درجه سلسیوس چهار رخ خواهد داد.

#### شبیه سازی مقادیر درجه - روز مورد نیاز گندم با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو :

در این قسمت سعی بر آن است تا به مقایسه تغییرات مقادیر درجه-روز نیاز گندم از دهه‌های گذشته تا آینده و برای خوشه‌های مختلف اقلیمی پرداخته شود. مقیاس زمانی برای این قسمت پژوهش، دوره مطالعاتی ۱۹۸۰ و ۲۰۰۵ برای داده‌های مشاهداتی گذشته و دوره‌های شبیه سازی شده ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ می‌باشد. از آنجا که قسمت عمده کشت گندم در ایران در فصل پاییز می‌باشد، لذا بیشتر بروی تغییرات این فصل تمرکز می‌گردد. در بررسی بعمل آمده برای میانگین درجه-روز ۴۳ زون مطالعاتی در سال ۱۹۸۰، ماه اوت با ۱۲۰۳ درجه-روز از بالاترین و ماه ژانویه با ۱۷۲.۳۰- از کمترین مقدار درجه روز برخوردار بوده‌اند. برای ماه‌های فصل پاییز نیز مشخص گردید که میانگین اکتبر ۳۶۲.۴۱، نوامبر ۱۳۱.۰۶ می-باشد، اما ماه دسامبر بطور میانگین ۹۰- درجه-روز از مقدار آستانه صفر درجه-روز پایین‌تر می‌باشد (شکل شماره ۴).



شکل ۴- میانگین ماهانه نیاز درجه-روز گندم در دهه‌های مطالعاتی و برای میانگین کلی ۴۳ زون مورد مطالعه

در بررسی انجام شده برای داده‌های مشاهداتی سال ۲۰۰۵، مشخص گردید که حداکثر مقدار درجه-روز به میزان ۱۲۵۷.۳ در ماه ژوئیه محاسبه گردیده و کمترین آن که حدود ۱۳۷.۲- درجه-روز زیر آستانه صفر درجه-روز می‌باشد برای ژانویه محاسبه گردیده است. در این دوره مطالعاتی با تمرکز بروی میانگین ۴۳ زون مطالعاتی مشخص گردید که ماه اکتبر با تغییر میانگین به میزان ۱۶۷.۴ درجه-روز نسبت به دوره مطالعاتی قبل از افزایش مقادیر درجه-روز برخوردار می‌باشد. اما ماه نوامبر برخلاف دوره قبل از کاهش میانگین درجه روز به میزان ۲۷- درجه-روز برخوردار است. در این دوره مطالعاتی ماه دسامبر نیز نسبت به دوره مطالعاتی ۱۹۸۰، به آستانه صفر درجه-روز نزدیک تر شده و مقدار آن به ۲۷.۹۸- درجه-روز تغییر یافته است (شکل شماره ۴). اما بر اساس شبیه سازی انجام شده برای دهه‌های آینده در سال ۲۰۲۵ حداکثر میانگین درجه-روز در بین ماه‌های سال بترتیب برای ماه ژوئیه ۱۲۶۵ و اوت ۱۲۲۶ محاسبه گردید که حداقل آن به مقدار ۱۲۷.۵۳ درجه-روز برای ماه ژانویه است. برای فصل پاییز نیز مقدار درجه-روز در ماه اکتبر نسبت به سال ۲۰۰۵، ۳۳ درجه-روز کاهش یافته است. در ماه نوامبر این میانگین تغییرات نسبت به دوره قبل حدود ۶۱ درجه-روز افزایش یافته است. حال آنکه در ماه دسامبر کاهش قابل توجهی در میزان درجه-روز دیده می‌شود. در این ماه میانگین کلی ۴۳ زون مطالعاتی ۴۶- درجه-روز شبیه سازی شده است. در دوره مطالعاتی ۲۰۵۰، همچنان این ماه ژانویه می‌باشد که کمترین مقدار درجه-روز را

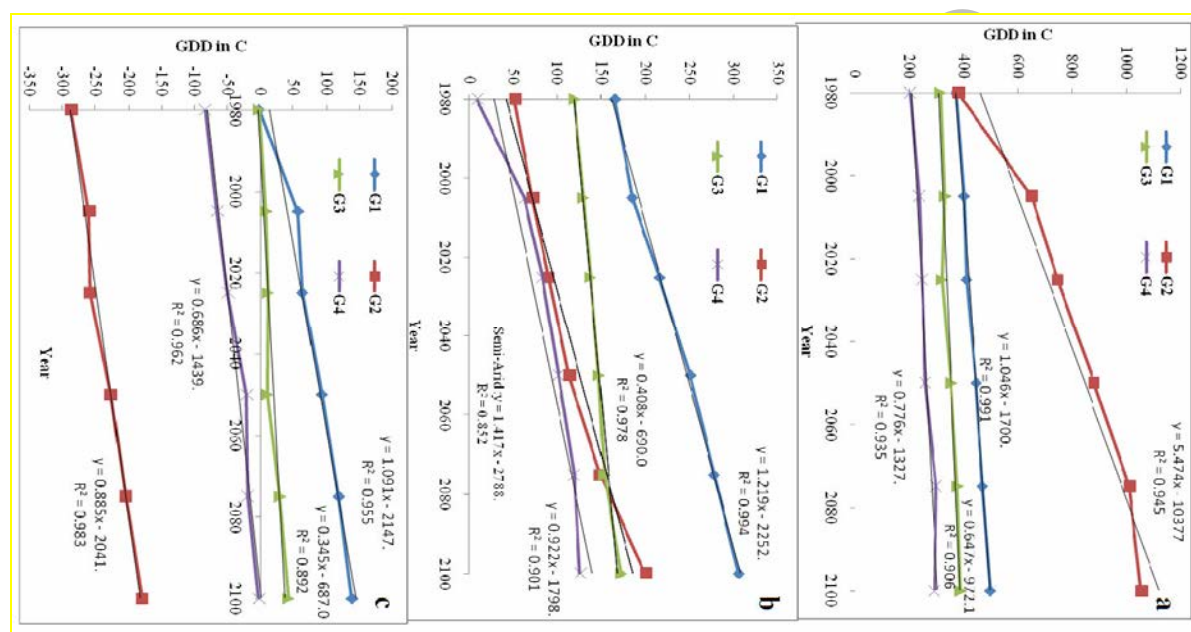
دارا می‌باشد با این حال این میزان، اندکی به صفر درجه- روز نزدیک تر شده و مقدار آن ۱۰۰- درجه-روز شبیه سازی شده است. حداکثر مقدار درجه- روز نیز به میزان ۱۳۵۵ برای ژوئیه شبیه‌سازی شده است. در این دوره در ماه اکتبر و نوامبر بترتیب، تغییرات نسبت به دوره قبل ۶۵ و ۲۹ درجه- روز افزایش یافته و برای دسامبر این مقدار همچنان زیر صفر درجه می- باشد. اما نسبت به دوره قبل حدود ۲۸ درجه به آستانه صفر درجه-روز نزدیک‌تر شده و مقدار آن ۱۸- درجه محاسبه گردیده است. در دوره مطالعاتی ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰، همچنان ماه ژانویه از کمترین مقدار درجه-روز برخوردار بوده و ژوئیه از حداکثر مقدار برخوردار می‌باشد. برای هر دو دوره، روند افزایشی درجه-روز برای دو ماه اکتبر و نوامبر همچنان قابل مشاهده می‌باشد. همچنین در سال ۲۰۷۵ مقدار درجه-روز برای ماه دسامبر از آستانه صفر درجه-روز فزونی گرفته و به ۵ درجه-روز رسیده است و این مقدار در سال ۲۱۰۰ به ۲۶ درجه-روز تغییر یافته است. (شکل شماره ۴). بنابراین با توجه به روند افزایشی مقادیر درجه-روز در بیشتر ماهها، انتظار می‌رود که این مقدار از میانگین سالانه ۵۱۰۰ درجه- روز برای تمام ۴۳ زون مطالعاتی در سال ۱۹۸۰ به میزان ۷۶۵۹ درجه- روز در سال ۲۱۰۰ منتهی گردد. بنابراین، با توجه به تغییرات روند درجه- روز پاییزه در بین خوشه های مختلف اقلیمی، نتایج مقایسه بین خوشه‌ها نشان می‌دهد که :

**الف) ماه اکتبر:** در مقایسه بین اکتبر ۱۹۸۰ مابین خوشه‌های اقلیمی مختلف، بیشترین مقدار درجه- روز به میزان ۳۷۹،۵۸ در خوشه یک و بعد از آن خوشه دو با ۳۷۲،۰۲ محاسبه گردید. همچنین خوشه شماره سه در رتبه سوم قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۵، خوشه شماره دو بیشترین مقدار درجه-روز را به خود اختصاص داده و خوشه‌های اول، سوم و چهارم در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در بررسی داده‌های شبیه سازی شده نیز، باز هم خوشه دوم است که بیشترین مقدار درجه-روز را به خود اختصاص داده و همچنان خوشه‌های اول، سوم و چهارم در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در مجموع با گذشت زمان از دوره مطالعاتی ۱۹۸۰ تا سال ۲۱۰۰، بدون استثناء تمام دوره‌ها و تمام خوشه‌های با افزایش مقدار درجه-روز همراه می‌باشند و این روند افزایشی درجه-روز، برای خوشه یک با  $R=0.99$ ، برای خوشه دوم  $R=0.87$ ، برای خوشه سوم  $r=0.95$  و در نهایت برای خوشه چهارم  $R=0.97$  می‌باشد. (شکل شماره 5a). اما یکی از علل اصلی که باعث گردیده خوشه دوم بیشترین مقدار درجه- روز را در ماه اکتبر داشته باشد، گرمی نسبی هوا در این ماه، وجود ارتفاع بلند و برخورداری از جوی رقیق در ایستگاههای مورد مطالعه در این منطقه می‌باشد.

**ب) ماه نوامبر:** در طول این ماه و در تمام دوره‌ها، خوشه اقلیمی شماره یک بالاترین مقدار درجه-روز را دارا می‌باشد. بعد از آن، خوشه اقلیمی شماره ۳ قرار گرفته است و خوشه دوم در جایگاه سوم قرار گرفته است. در داده‌های شبیه‌سازی شده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰) نیز یک روند افزایشی برای درجه-روز در تمام خوشه‌ها وجود دارد، اما در داده‌های مشاهداتی سال ۲۰۰۵، یک کاهش نسبت به سال ۱۹۸۰ دیده می‌شود. در روند افزایشی مقدار درجه-روز با گذشت زمان، این خوشه یک است که با  $r=0.95$  در رتبه اول معناداری قرار دارد و دوم خوشه شماره دو با  $r=0.92$ ، خوشه چهارم با  $r=0.95$  و خوشه سوم با  $r=0.63$  در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. (شکل شماره 5a). در این ماه، خوشه اقلیمی شماره دو بعلاوه ارتفاع زیاد و آغاز فصل سرد و افت دما، نسبت به دیگر خوشه‌ها از افت درجه-روز برخوردار می‌باشد.

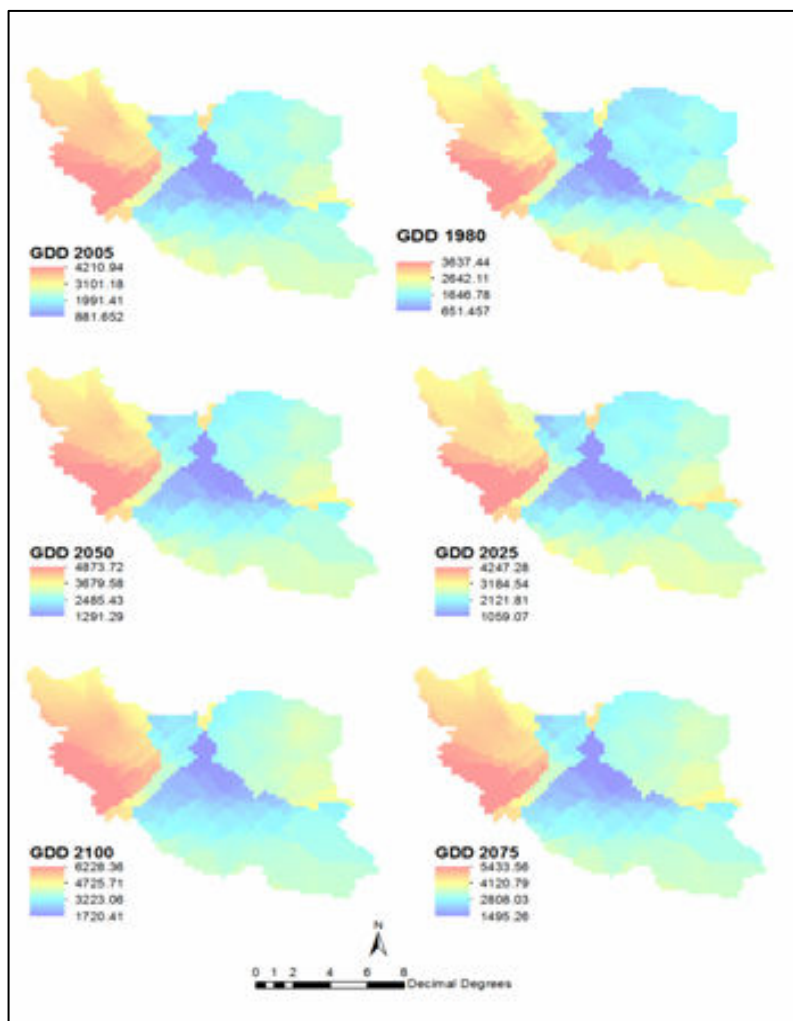
**ج) ماه دسامبر:** در ماه دسامبر وضعیت در هر دوره با دوره‌های دیگر متفاوت می‌باشد. بالأخص این تفاوت برای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مشهودتر است. در این ماه و در سال ۱۹۸۰، بیشترین میانگین درجه-روز در خوشه سوم به میزان ۱۹،۱۴ درجه- روز وجود دارد و خوشه‌های اول، چهارم و دوم در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در سال ۲۰۰۵، بیشترین مقدار درجه- روز برای خوشه شماره یک استخراج گردیده که بعد از آن خوشه‌های سوم، چهارم و در نهایت دوم قرار دارند. در داده‌های شبیه سازی شده و برای تمام خوشه‌ها، این خوشه یک است که از حداکثر مقدار درجه-روز برخوردار بوده و خوشه- های سوم، چهارم و در نهایت دوم در رتبه‌های دیگر مطالعاتی قرار گرفته‌اند. در این ماه، خوشه دوم در تمام دوره‌ها و خوشه چهارم بجز سال ۲۰۰۵، تماماً از مقادیر منفی درجه-روز برخوردار می‌باشند. این تغییرات به معنای نیاز به درجه-روز بیشتر برای مراحل بلوغ گندم در این ماه و برای خوشه‌های دوم و چهارم است. اگر چه علت اصلی وجود مقادیر منفی درجه-روز برای خوشه دوم وجود ارتفاع زیاد ایستگاهها و برای خوشه چهارم وجود ابرناکی و نزدیکی بیشتر این ایستگاهها به سواحل دریای

خزر می‌باشد که عامل پستی ایستگاهها، ابرناکی و جو ضخیم در بالای این ایستگاهها باعث می‌شود که نور خورشید کمتری را دریافت نموده و در نهایت دما کاهش یافته و مقادیر درجه-روز کاهش نماید. در این ماه روند معناداری برای خوشه اقلیمی یک با  $R=0.96$  و خوشه دو با  $R=0.74$  دیده می‌شود و در دو خوشه دیگر روند معنادار افزایش درجه-روز وجود ندارد. (شکل شماره 5b). در تحلیل روند تغییرات مؤلفه درجه-روز با گذشت زمان می‌توان اشاره کرد که در خوشه اقلیمی یک، وجود یک روند منظم افزایشی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۱۰۰ قابل مشاهده می‌باشد. در خوشه اقلیمی دوم، روند افزایش درجه-روز مشاهده می‌شود، اما باز این سال ۲۰۰۵ می‌باشد که کمی این نظم را بر هم زده است. در خوشه سوم، روند افزایشی قابل تشخیص است ولی دوره‌های ابتدایی کمی نظم را بر هم زده‌اند و در نهایت خوشه چهارم بجز سال ۲۰۰۵ که مقدار آن مثبت بوده، مابقی دوره‌ها از مقادیر منفی برخوردار بوده، اگرچه روند صعودی و افزایشی درجه روز در اکثر دوره‌ها را می‌توان مشاهده کرد.



شکل 5- مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده درجه-روز مورد نیاز گندم در ماه اکتبر (5a)، نوامبر (5b) و دسامبر (5c) برای ۴ خوشه اقلیمی ایران.

در ادامه تغییرات درجه-روز مورد نیاز گندم، با توجه به موقعیت جغرافیایی مناطق مختلف کشور مورد بررسی قرار گرفته می‌شود. با توجه به کل دوره مطالعاتی، ناحیه ۱۸ در خروجی مدل Magicc Scengen که شامل ۳۲٫۵ تا ۳۵ درجه شمالی و ۴۵ تا ۴۷٫۵ شرقی می‌باشد و در برگرنده نواحی نظیر شمال خوزستان، غرب لرستان، شرق ایلام، جنوب کرمانشاه و جنوب همدان است، از بیشترین مقدار درجه-روز در میان سایر زونها برخوردار می‌باشند. حال آنکه زون ۱۱ که در محدوده جغرافیایی ۳۵ تا ۳۷٫۵ شمالی و ۴۷٫۵ تا ۵۰ شرقی قرار دارد و شامل نواحی نظیر شمال همدان، غرب قزوین و شرق زنجان است در جایگاه بعدی قرار گرفته است. پس از آن ناحیه مطالعاتی ۱۵ که در برگرنده غرب خراسان رضویست در بالاترین میزان برخوردار از درجه-روز قرار گرفته است. نکته جالب توجه اینکه این مناطق همگی در محدوده اقلیمی شماره دو قرار گرفته‌اند و بعد از این مناطق، زونهای ۴۰، ۴۱، ۴۳ و ۳۳ که شامل نواحی نظیر جنوب شرق سیستان و بلوچستان، غرب هرمزگان، جنوب فارس و در نهایت شرق خلیج فارس و شرق بوشهر می‌باشد و همگی از نواحی اقلیمی شماره یک می‌باشند، در جایگاه بعدی این رتبه بندی قرار گرفته‌اند. (شکل شماره ۶).



شکل ۶- مقادیر درجه- روز مورد نیاز گندم برای داده های تجربی و شبیه سازی شده

اما در بین مناطق مورد مطالعه می توان به زونهای ۱، ۳ و ۱۹ که شامل نواحی شمال آذربایجان، اردبیل و غرب گیلان، غرب مرکزی، غرب قم، شمال لرستان و شرق همدان می باشد؛ اشاره نمود که این ایستگاهها و زونهای مطالعاتی از کمترین مقدار درجه- روز مورد نیاز برای گندم برخوردار بوده اند. (شکل شماره ۶). علی رغم این مقادیر حداقلی درجه- روز، اما می توان از خروجی داده های این زونها متوجه شد که افزایش مقادیر درجه- روز به سمت مقادیر مثبت در حال افزایش می باشد. و این نقطه قوتی برای تغییرات اقلیمی آینده این نواحی در جهت کشت گندم پاییز می باشد.

#### نتیجه گیری :

در بررسی انجام شده بین مؤلفه های دما و درجه روز با مقادیر دی اکسید کربن استخراج شده در ایستگاه Mauna Loa، بیشترین مقادیر همبستگی مربوط به مؤلفه حداقل دما با مقادیر دی اکسید کربن جو می باشد. همانگونه که مشخص است بیشترین تأثیر گرمایش جهانی بر مقادیر حداقل دما می باشد. زیرا دمای حداکثر روزانه متأثر از تأثیر مستقیم تابش خورشید است و نمی تواند نماینده مناسبی برای نشان دادن اثر گازهای گلخانه ای بروی تغییرات دما باشد. اما در هنگام شب تأثیر خورشید بصورت مستقیم حذف شده و بهتر می توان تأثیر گرمایش جهانی و گازهای گلخانه ای را بر تغییرات دما مشاهده نمود. بنابراین با تأثیر پذیری مؤلفه های دما و درجه- روز از تغییرات افزایشی دی اکسید کربن، مقادیر دماهای حداقل، حداکثر و میانگین و نیز مقدار درجه روز سالانه رشد گندم بترتیب در خوشه های شماره یک و چهارم همبستگی خوبی را با مقدار سالانه CO<sub>2</sub> ایستگاه Mauna Loa نشان می دهند. همچنان که شکلهای مربوط به این مؤلفه ها نشان می دهند، روند

تغییرات دما و درجه روز با روند صعودی مقدار دی اکسید کربن جو هماهنگی دارد، بخصوص این هماهنگی از آغاز دهه ۱۹۹۰، کاملاً منطبق با افزایش دی اکسید کربن جو جهانی است. دماهای حداقل خوشه شماره یک و چهارم به ترتیب با  $r=0.83$  و  $r=0.71$  بیشترین مقدار همبستگی مثبت معنی دار را با مقدار  $CO_2$  دارند. در حالی که این انطباق در خوشه شماره دوم کم رنگ و در خوشه سوم رابطه عکس را نشان می‌دهد. مطالعه مربوط به تغییرات روند دما برای اکثر ماهها و فصول سال، گویای افزایش روند معناداری دما می‌باشد که با تمرکز بر تغییرات دما در فصل پاییز می‌توان بیان کرد که حداکثر افزایش دمای دهه-ای، برای دمای شبانه به میزان  $+0.26$  درجه سلسیوس رخ داده است. همچنان که مقدار افزایش میزان درجه-روز در این فصل، بطور متوسط از دهه ۱۹۶۰ تا اواخر دهه ۲۰۰۰، برای هر دهه ۳٫۲ درجه-روز استخراج شده است. اگر چه این می‌تواند باعث افزایش طول دوره رشد گردد، اما باعث بلوغ زود رس و کوتاهتر شدن دوره رسیدگی گندم شود. اما از جمله عوارض این بلوغ زود رس، کاهش کیفیت محصول خواهد بود که مطالعات قبلی این موضوع را تأیید کرده‌اند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۷).

نتایج نشان می‌دهند که با توجه به افزایش دی اکسید کربن جو و در نهایت افزایش گرمایش جهانی، مقادیر درجه-روز در اکثر نواحی اقلیمی و زونهای مختلف، در حال افزایش بوده و این عامل باعث افزایش طول دوره رشد خواهد گردید. در مطالعه حاضر، این مهم استخراج شد که نواحی اقلیمی واقع در خوشه شماره دو از دو دیدگاه اهمیت دارند. یکی نواحی که در موقعیت غرب و جنوب غربی کشور قرار دارند که از پتانسیل بالای درجه-روز برخوردار بوده‌اند و فقط با تکیه بر پارامتر درجه-روز از بیشترین پتانسیل کشت گندم پاییز در میان دیگر مناطق اقلیمی برخوردار می‌باشند و دیگری نواحی واقع در شمال غربی کشور هستند. این نواحی بدلیل ارتفاع زیاد و عرض بالاتر و قرار گیری در مسیر توده‌های هوای سرد شمالی از کمترین مقدار درجه-روز مورد نیاز در میان دیگر مناطق کشور جا گرفته‌اند. اما با مقایسه مقادیر مشاهداتی دهه‌های گذشته و داده‌های شبیه‌سازی شده آینده، نتایج گویای افزایش درجه-روز مورد نیاز گندم در این زونها با گذشت زمان و افزایش گرمایش جهانی بوده است که این خود نقطه قوت برای آینده این نقاط در کشت گندم پاییز می‌باشد. در نهایت از خروجی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که بدلیل گرمایش هوا و افزایش مقادیر درجه-روز در ماه‌های پاییز که حتی دیگر فصول سال نیز از آن مستثنی نیستند، به جای آغاز دوره کشت گندم پاییزه از اوایل و اواسط پاییز، که این فرایند با کمی تفاوت در اکثر مناطق کشور دیده می‌شود، می‌توان مقداری این دوره را به جلو انداخت و آن را از اواخر تابستان آغاز و با در نظر گرفتن مناطق جغرافیایی و آب و هوایی ایران بسط و گسترش داد. و این بدین دلیل می‌باشد که فصل گرما از لحاظ زمانی در حال گسترش بوده و فصول سرد سال با تأخیر زمانی بیشتری آغاز خواهند شد. جلو انداختن کاشت می‌تواند از تطبیق زمان گلدهی محصول با دماهای بالا جلوگیری و از استرس دماهای بالا بر کاهش محصول بکاهد. اما نباید فراموش کرد که این مستلزم این موضوع است که باید به همین نسبت بر مقدار و تعداد روزهای بارانی اواخر فصل تابستان افزوده شود. این بدین دلیل مطرح می‌شود که دانه نیازمند به حداقل بارش مؤثر است که بتواند جوانه بزند و مراحل رشد را آغاز کند. در این راستا مقایسه بین مقادیر خروجی درجه-روز مابین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده نشان می‌دهد که، بترتیب باید فصل کاشت گندم پاییزه در خوشه های شماره یک، بعد از آن خوشه دو، چهارم و سوم به جلو انداخته شود. ولی برای کاربردی کردن این پیشنهاد، شناخت صحیح از تغییرات بارش فصول تابستان و پاییز امری الزامیست. همچنین آنکه تغییر تقویم زمان دقیق برای کاشت محصول گندم، نیازمند مطالعه دقیق در مقیاس مکانی برای هر ایستگاه می‌باشد.

#### منابع:

۱. ابوالفضل، م (۱۳۸۴): «بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته»، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴، تهران، صص ۲۹-۴۵.
۲. رضایی، ب، ا، سلطانی، ف، اگر مقداری و ا، زینلی (۱۳۸۰): «کمی سازی وقوع تن شهای دمایی در زراعت گندم (*Triticum aestivum*) در گرگان»، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره چهارم، تهران.
۳. ساری صراف، بهروز، بازگیر، سعید و غلامحسین محمدی (بهار ۱۳۸۸): «پهنه بندی پتانسیلهای اقلیمی کشت گندم دیم در استان آذربایجان غربی»، مجله جغرافیا و توسعه، سال هفتم، شماره ۱۳، زاهدان، صص ۲۶-۵.



۴. کوچکی، علی و مهدی نصیری محلاتی (۱۳۸۷): «تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت دی اکسید کربن بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری»، مجله پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۶، شماره ۱۱، تهران، صص ۱۵۳-۱۳۹.
۵. کوچکی علی، مهدی، نصیری محلاتی، ج، بداغ جمالی و ح. مرعشی (۱۳۸۵): «مطالعه اثر تغییر اقلیم بر ویژگی های رشد و عملکرد گندم دیم رقم سرداری با استفاده از مدل گردش عمومی»، مجله علوم و صنایع کشاورزی، شماره ۲۰، تهران، صص ۸۳-۹۵.
۶. مداح یزدی، و.، ا.، سلطانی، ب.، کامکار و ا.، زینلی (۱۳۸۷): «فیزیولوژی مقایسه‌ای گندم و نخود: تولید و زوال برگ ها»، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره چهارم، تهران.
۷. مین باشی معینی، مهدی و همکاران (تابستان ۱۳۸۷): «کاربرد فنولوژی علف های هرز مزارع گندم در بهینه سازی کنترل شیمیایی و کاهش مصرف سموم»، مجله علوم محیطی، سال پنجم، شماره ۲۰، تهران، صص ۹۴-۷۷.
۸. نصیری محلاتی، مهدی، کوچکی، علی و غ.، مرعشی کمالی (۱۳۸۵): «بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های اقلیمی کشاورزی ایران»، مجله علوم کشاورزی، شماره ۷، تهران، صص ۸۲-۷۱.
9. Allen, J.C., 1976. A modified sine wave method for calculating degree days. *Environ. Entomol.* 5:388-396.
10. Bazgeer, S., Kamali, Gh., Mortazavi, A., 2007. Wheat yield prediction through agrometeorological indices for Hamedan, Iran, *BIABAN*. 12 :33-38
11. DeGaetano A.T., Shulman M.D., 1990, A climatic classification of plant hardiness in the United States and Canada, *Agricultural and Forest Meteorology*, No.51, pp. 333-351.
12. Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger M.G., Leemans, R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 107,101-116.
13. Elliott, R.H., Mann, L., Olfert, O., 2009. Calendar and degree-day requirements for emergence of adult wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Ge´ hin) (Diptera: Cecidomyiidae) in Saskatchewan, Canada, *Crop Protection*. 28: 588-594.
14. Fuhrer, J., 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO<sub>2</sub>, ozone, and global climate change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 97, 1-20.
15. Gh. R. Roshan, F. Khoshakh lagh, Gh. Azizi, H. Mohammadi, 2011. Simulation of temperature changes in Iran under the atmosphere carbon dioxide duplication condition, *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 2(8):139-15.
16. Iran Meteorological Organization (IRIMO): <http://www.irimet.net>
17. Johnson D.E., 1998, applied multivariate methods for data analysts, edit 2, Duxbury Press, New York.
18. Kont, A., Jaagus, J., Aunap, R., 2003. Climate Change scenarios and the effect of sea – level rise for Estonia. *Glob. Planet. Chang.* 36, 1-15.
19. Koocheki A, Nassiri, M., Kamali G.A., Shahandeh, H., 2006. Potential impacts of climate change on agrometeorological indicators in Iran. *Arid Land Research and Management*. 20, 245-259.
20. Parry, M., Rosenzweig, C., Inglesias, A., Livermore, M., Gischer, G., 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Glob. Environ. Change.* 14,53-67.
21. Prasad, P.V.V., Boote, K.J., Allen Jr., L.H., Sheehy J.E., Thomas, J.M.G., 2006. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Res.* 95 (2/3), 398-411.
22. Rezaei, P., Soltani, A., Ghaderi, A., Zeynali, E., 2008. Quantification of the Occurrence of Thermal Tentions in the Wheat Cultivation Plants (*Triticum aestivum*) in Gorgan, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 15, 66-83(In Persian).

23. Roshan, Gh.R., Ranjbar, F., Orosa, J. A., 2010. Simulation of global warming effect on outdoor thermal comfort conditions. *Int. J. Enviro. Sci. Tech.* 7, 571-580.
24. Sadeghi R., 2002, Regional Classification Agriculture in Southern Iran, *Journal of Arid Environments*, No.50, pp.77-98.
25. Sivakumar, M.V.K., Das, H.P., Brunini, O., 2005. Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics. *Climatic Change* .70, 31-72.
26. Shakoor, A., Roshan, Gh.R., Najafi kani A.A.,2010. Evaluating climatic potential for palm cultivation in Iran with emphasis on degree-day. *African Journal of Agricultural Research* 5, 1616-1626.
27. Türkeş, M., Sumer U.M., Kılıç, G., 1996. Observed changes in maximum and minimum temperatures in Turkey. *Int.J. Clim.*, 16: 463-477.
28. Van G., H., 1984, The climatic regions of New Brunswick: A multivariate analysis of meteorological data, *Canadian Journal of Forest Research*, No.14,pp. 389-394.
29. Wigley, T.M.L., 2008. *MAGICC/SCENGEN User Manual* (downloaded from <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/>)
30. Wigley, T.M.L., 1995. *MAGICC and SCENGEN Integrated models for estimating regional climate change in response to anthropogenic emissions*. In: Zverver, S., van Rompaey, R.S.A.R., Kok, M.T.J., Berk, M.M. (Eds.), *Climate Change Research: Evaluation and Policy Implications*, Elsevier, Amsterdam, 1504pp.

Archive of SID