

تحلیل فضایی و ارزیابی روند واحدهای گرمایی طول فصل رشد ناشی از تغییرات دمایی در ایران

مهران فاطمی* - استادیار دانشگاه میبد، یزد، ایران
حمیده دهقان - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۷

چکیده

دما یکی از مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی مؤثر در رشد و نمو موجودات زنده است. برای کمی‌سازی اثر دما در رشد و نمو گیاهان عموماً از شاخص‌های درجه-روز رشد استفاده می‌شود. از این رو، هدف از این تحقیق اندازه‌گیری میزان روند تغییرات درجه-روز رشد دماهای ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در طول فصل رویشی در ۳۱ ایستگاه سینوپتیک منتخب با ۲۵ سال دوره آماری مشترک (۱۳۶۴-۱۳۸۹) در سطح کشور است. برای محاسبه واحدهای گرمایی طول فصل رشد از روش دمای میانگین روزانه منهای دمای پایه استفاده و نقشه‌های پهنه‌بندی آن تهیه شد. با استفاده از آزمون من-کندال، چگونگی و زمان آغاز روند یا تغییرات واحدهای گرمایی مشخص و مقدار تغییرات محاسبه شد. نتایج تحقیق تغییرات بیشتری را در سری‌های مربوط به واحدهای گرمایی با آستانه‌های دمای ۱۰ درجه نسبت به سری‌هایی با آستانه ۵ درجه نشان داد. ایستگاه‌های آبادان و اهواز در دمای ۱۰ درجه، برخلاف ایستگاه‌های دیگر، دارای روند کاهشی بودند. نقشه پهنه‌بندی واحدهای گرمایی نشان داد که واحدهای گرمایی در پایه دمایی ۵ درجه از جنوب به شمال کشور و از غرب به شرق افزایش می‌یابد و کاهش آن در پایه دمایی ۱۰ درجه است.

کلیدواژگان: آزمون من-کندال، ایران، روند واحدهای گرمایی طول فصل رشد، طول فصل رشد.

مقدمه

یکی از چالش‌های قرن ۲۱ موضوع نوسانات و تغییرات اقلیمی است. تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب‌وهوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طی یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده‌شده یا ثبت‌شده در یک منطقه مورد انتظار است (لشنی زند و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۳). افزایش میانگین دمای کره زمین و تغییرات آن نمایه‌ای از تغییرات اقلیمی است که در همه نظریه‌های تغییر اقلیم به آن توجه شده است. در میان این افزایش جهانی دمای هوا، بسیاری از تحقیقات فنولوژیکی، هواشناسی، و ماهواره‌ای از افزایش طول فصل رویشی ناشی از افزایش درجه حرارت در مناطق شمالی در طی قرن بیستم خبر می‌دهند (کمیلوسکی و روتزر، ۲۰۰۱: ۱۱۲؛ جیونگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۳۸۵). تولید محصول نسبت به دیگر عوامل محیطی تا حد زیادی به شرایط آب‌وهوایی بستگی دارد (ماوی، ۲۰۰۳: ۴۰۶). هر گونه زراعی برای شروع جوانه‌زنی و رشد خود به حداقلی از درجه حرارت نیاز دارد که در دمای پایین‌تر از این نقطه رشد آغاز نمی‌شود یا متوقف می‌شود. این درجه حرارت برای هر گونه عدد مشخصی است (کوچکی، ۱۳۷۵: ۸۱). یکی از اثرهای

مهم این پدیده (افزایش گرما) تغییر در میزان درجه- روز گیاه است. میزان رشد گیاه تابعی از دماست. شاخص درجه- روز^۱ رشد و تأمین شدن آن برای محصول نقش مؤثری در تکامل رشد، افزایش بهره‌وری از نهاده‌ها از جمله تاریخ کشت و حصول عملکرد بیشتر دارد که این درجه- روز بسته به تغییرات دما تغییر می‌کند. بنابراین، کشاورزان باید فعالیت‌های زراعی خود را با توجه به رژیم‌های حرارتی منطقه خود انتخاب کنند و در این زمینه باید تغییرات روزانه، تغییرات فصلی اقلیم منطقه، و دیگر مسائل مربوط به دما را مدنظر قرار دهند. در غیر این صورت، حتی در صورت وجود آب در منطقه، نباید آن گیاه را برای کشت در طرح‌های کشاورزی توصیه کرد (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۱۷). بدین ترتیب، بیشتر تحولات بیولوژیک مانند رشد گیاهان تابع توان حرارتی محیط یا درجه- روز است (علیزاده، ۱۳۸۸: ۹۹). درک اینکه چگونه تغییرات آب‌وهوایی در فنولوژی گیاه تأثیر می‌گذارد (تغییر در زمان فعالیت گیاهان) برای بسیاری از مطالعات زیست‌محیطی مهم است. این تغییرات در فنولوژی گیاهان کشاورزی به عنوان یک نتیجه از تغییرات آب‌وهوایی باعث افزایش تولید مواد غذایی مورد نیاز برای تغذیه جمعیت رو به رشد می‌شود (آناندهی، ۲۰۱۶: ۱۴۹).

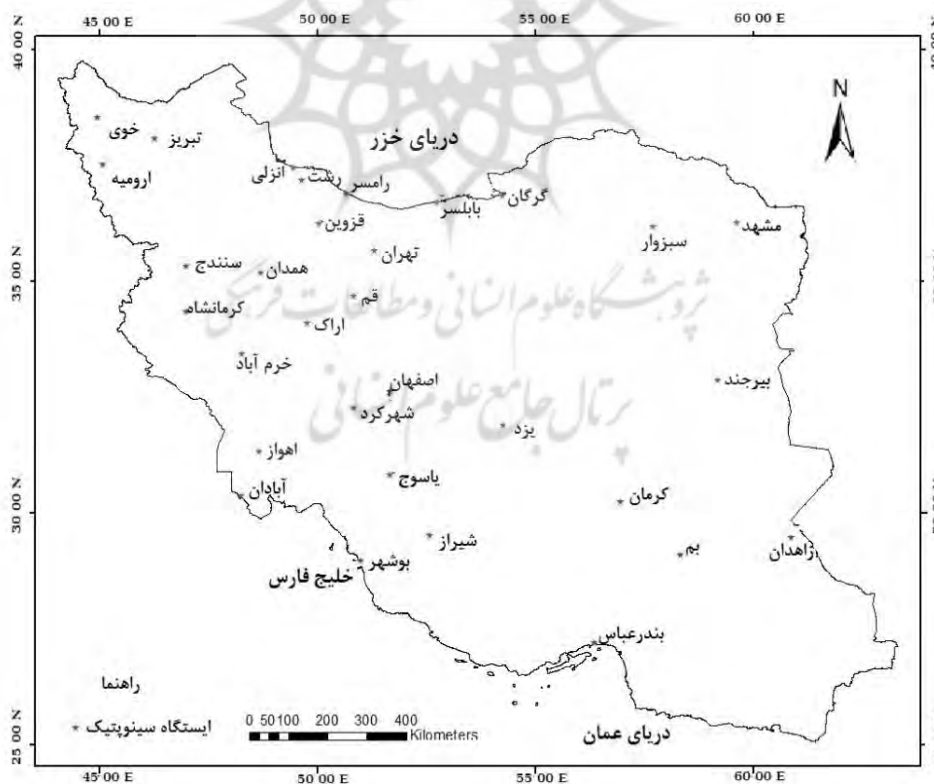
با توجه به اهمیت دما، واحدهای گرمایی، و طول فصل رشد، برای بررسی رقابت و سازگاری گیاهان در این زمینه مطالعات متعددی در دنیا و ایران انجام گرفته است.

بیکر و همکاران (۱۹۸۴: ۵۵) با استفاده از درجه- روز به بررسی دمای پایه مورد نیاز برای پیش‌بینی آفات سنبله ذرت در طی دوره ۲۵ ساله در اروپا پرداختند. شارات و همکاران (۱۹۸۹) دمای پایه برای محاسبه درجه- روز مورد نیاز برای مراحل رویشی یونجه را برای پایه‌های دمایی ۳/۵، ۷/۵، و ۱۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۵۸۵، ۴۲۵، و ۴۲۵ حساب کردند. کادیاقلو و سایلان (۲۰۰۱: ۸۵) با بررسی روند واحدهای گرمایی در ۷۴ ایستگاه ترکیه (بازه زمانی شصت‌ساله) به صورت ماهانه و فصلی به این نتیجه رسیدند که روند واحدهای گرمایی در فصل تابستان و پاییز در مناطق ساحلی ترکیه منفی است که کاهش درخور توجه در میزان واحدهای گرمایی به کاهش درازمدت رشد گیاهان در مناطق ساحلی ترکیه منجر می‌شود. لیندرهوم (۲۰۰۶: ۱۰) با بررسی تغییرات طول دوره رویشی در قرن اخیر دریافت که افزایش طول دوره رویشی با گرمایش جهانی مرتبط است؛ افزایش طول دوره رویشی به افزایش ذخیره کربن و تغییر در پوشش گیاهی منجر می‌شود و سیستم اقلیمی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. گوان (۲۰۰۹: ۲۲۷۱) ارتباط میزان رشد و میزان درجه- روزهای ماهانه رشد گونه صنوبر را در تایوان بررسی کرد. یوان و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی روند طول فصل رشد بر اساس واحدهای گرمایی طی دوره ۱۹۶۰-۲۰۰۹ در فلات تبت پرداختند. بر اساس نتایج این تحقیق، در طی پنجاه سال گذشته متوسط طول دوره رشد روند افزایشی درخور توجهی را با میزان ۳/۲۹ روز نشان داد. تورکی و همکاران (۲۰۱۴: ۱۷۹) به بررسی روند تغییرات فصل رشد و پهنه‌بندی آن در ایران پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که تغییرات بیشتری در سری‌های مربوط به شروع و پایان فصل رشد با پایه‌های حرارتی ۱۰ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با سری ۵ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود. آناندهی (۲۰۱۶: ۱۵۰) از تغییر شاخص درجه- روز برای بررسی تغییر دمای روانه و تأثیر آن در مراحل رشد غلات در کانزاس استفاده کرد. صداقت‌کردار و رحیم‌زاده (۱۳۸۶: ۱۸۲-۱۹۲) با استفاده از شاخص حدی طول دوره رویش همراه تعداد روزهای یخبندان در ۱۶ ایستگاه کشور روند تغییرات دوره رویشی در پنجاه سال اخیر را بررسی کردند. مظفری و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی تغییرات فصل رویشی در شمال ایران به این نتیجه رسیدند که طول فصل رویشی در ایستگاه‌های رامسر و رشت افزایش داشته است. معروف‌نژاد و قاسمی (۱۳۹۵: ۱۴۹-۱۶۶) با بررسی روند و نوع تغییرات دما به صورت ماهانه، فصلی، و سالانه در استان چهارمحال و بختیاری نشان دادند که فصل زمستان روند منفی با

۳۰ درصد، فصل بهار تغییر ناگهانی افزایشی با ۵۵ درصد، فصل تابستان روند مثبت با ۳۵ درصد، و فصل پاییز بدون روند با ۵۵ درصد را نشان داد و در تغییرات سالانه تغییر ناگهانی افزایشی با ۳۵ درصد مشاهده شد. در این تحقیق تلاش شده است تا به پهنه‌بندی واحدهای گرمایی طول فصل رشد و بررسی وجود یا فقدان روند در میزان واحدهای گرمایی با استفاده از شاخص‌های دمایی در ایران پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

در اجرای این تحقیق، در مرحله اول، آمار کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک ایران، که دارای آمار بلندمدت بودند، از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. در این تحقیق از داده‌های روزانه دمای ۳۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک، که دارای دوره آماری مشترک ۲۵ ساله (۱۳۶۴-۱۳۸۹) بودند، استفاده شد (شکل ۱). برای محاسبه واحدهای گرمایی، ابتدا طول فصل رشد برای آستانه‌های دمایی ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از کدبندی ژیلوسی^۱ (اول بهمن با کد یک و ۳۰ دی با کد ۳۶۵) استخراج و سپس واحدهای گرمایی طول فصل رشد از روش دمای میانگین روزانه منهای دمای پایه محاسبه شد. نواقص آماری به وسیله روش خودهمبستگی بازسازی شد و تصادفی بودن داده‌ها نیز به وسیله آزمون من-کندال آزمایش شد و سری‌هایی که با سطح اطمینان آلفای ۰/۰۵ دارای تغییر یا روند بودند شناسایی شدند. سپس، با آزمون گرافیکی من-کندال^۲ چگونگی و زمان آغاز روند یا تغییرات واحدهای گرمایی مشخص و مقدار تغییرات محاسبه شد.



شکل ۱. نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

1. Julian date
2. Man- kendal

طول فصل رشد

تعاریف متعددی درباره طول فصل رشد وجود دارد. طول حقیقی فصل رشد از سالی به سال دیگر فرق می‌کند و نیز رشد محصول زراعی ممکن است فقط به بخشی از این فصل رشد محدود شود یا حتی در خارج از آن محدوده باشد. تعیین فصل رشد در هر منطقه در انتخاب محصول و رقم و تعیین زمان کاشت و سایر تصمیم‌گیری‌های زراعی نقش مؤثری دارد. در این مورد تعاریف متعددی وجود دارد: آنون (۱۹۷۸) فصل رشد را دوره‌ای بیان می‌کند که در آن رطوبت کافی و فقدان محدودیت‌های حرارتی تولید محصولات زراعی را امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین، دو عامل مهم برای دوره رشد عبارت است از: دمای مناسب و رطوبت کافی. بر اساس تعریف ارائه‌شده از گروه تغییرپذیری کمیسیون اقلیم‌شناسی^۱ سازمان هواشناسی جهانی، در نیمکره شمالی فاصله زمانی بین اولین دوره بعد از اول جولای (دهم تیر)، که حداقل شش روز متوالی، دمای میانگین روزانه بیشتر از ۵ درجه سانتی‌گراد باشد و اولین دوره شش‌روزه با دمای میانگین روزانه کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد طول دوره رویشی محسوب می‌شود. در نیمکره جنوبی این فاصله زمانی از اول ماه ژانویه در نظر گرفته می‌شود. فریچ (۲۰۰۲: ۱۹۳-۲۱۲) اولین دوره شش‌روزه با میانگین دمای بالای ۵ درجه سانتی‌گراد بعد از آخرین یخبندان بهاره را به عنوان آغاز دوره و آخرین دوره شش‌روزه با میانگین دمای زیر ۵ درجه سانتی‌گراد را به عنوان خاتمه طول دوره رشد در نظر گرفته است (مظفری، ۱۳۹۲: ۱۲۵).

در این تحقیق، به دلیل تنوع شرایط اقلیمی مناطق مورد مطالعه، به منظور استفاده از آمار طول فصل رشد در کاشت گونه‌های گیاهی سازگار با آستانه‌های ۵ درجه سانتی‌گراد (گیاهان سردسیری) و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (گیاهان گرمسیری) به صورت جداگانه، شروع دوره رشد، اولین دوره شش‌روزه با دمای حداقل روزانه، مساوی یا بزرگ‌تر از ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (۵ T_{min} و ۱۰ T_{min}) به عنوان آغاز دوره (برای شروع رشد گیاهان رسیدن دما به ۵ درجه سانتی‌گراد الزامی است) و آخرین دوره شش‌روزه با دمای حداقل کمتر از ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد ($T_{min} < 5$ و $T_{min} < 10$) به عنوان خاتمه طول دوره رشد در نظر گرفته شده است.

واحدهای گرمایی طول فصل رشد یا درجه-روز (GDD)

سرعت رشد گیاهان زراعی از زمان کاشت تا زمان رسیدگی شدیداً وابسته به دمای محیطی است که این گیاهان با آن مواجه می‌شوند. در رابطه با اثر دما در رشد و نمو موجودات، دو پارامتر عمده قابل طرح است: یکی، آستانه پایینی برای نمو یک گونه که بنا به تعریف دمایی است که رشد و نمو موجود در دماهای پایین‌تر از آن کند یا متوقف می‌شود و در پایین‌تر از آن دما، رشد و نمو کمتری نشان می‌دهند؛ دیگری، آستانه بالایی برای نمو یک گونه که تعریف چندان دقیقی برای آن ارائه نشده است؛ اما غالباً به عنوان دمایی در نظر گرفته می‌شود که سرعت رشد و نمو موجود در آن دما شروع می‌کند به کاهش یافتن. مقدار گرمای مورد نیاز یک موجود معین برای تکمیل مراحل نمو خود مقدار ثابتی است و تغییر نمی‌کند. به عبارت دیگر، مجموع زمان و دمای تجمع‌یافته بین آستانه‌های دمایی رشد در یک روز معین واحد گرمایی^۲ یا درجه-روز نامیده می‌شود (میرمحمدی میبیدی، ۱۳۸۳: ۱۱۶-۱۲۰). برای محاسبه واحدهای گرمایی از روش درجه-روز یا GDD استفاده می‌شود. درجه-روز یعنی مجموع میانگین درجه حرارت‌های بالاتر از صفر بیولوژیکی یا درجه حرارت پایه که فرمول محاسبه آن به شرح رابطه ۱ است:

$$GDD = \left[\sum_{1}^n \left[\frac{TM + Tm}{2} \right] - Tb \right] \quad (1)$$

1. CCL /CLIVAR: Commission for Climatology\ Climate Variabilty

2. Heat unit

GDD درجه- روز رشد، TM درجه حرارت حداکثر روز، Tm درجه حرارت حداقل روز، Tb درجه حرارت پایه، و n تعداد روزها در یک مدت معین است (مظاهری و همکاران، ۱۳۸۰: ۶۷).

می‌دانیم که رشد هر گیاه از آستانه دمایی معینی آغاز می‌شود. چنانچه درجه- روز صفر یا منفی باشد، آن روز در رشد تأثیری نخواهد داشت. هر گیاه برای اینکه بتواند در یک منطقه رشد کند نیاز به تعداد درجه- روز مشخصی دارد که شرایط محیطی آن منطقه باید قادر به تأمین آن در طول دوره رشد گیاه باشد. تمام گیاهان نسبت به دماهای بالا و پایین دارای محدوده مقاومتی خاص می‌باشند. بنابراین، دامنه تغییرات درجه حرارت در هر منطقه می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای کاشت گونه‌های زراعی مناسب در آن منطقه مطرح باشد. بنابراین، کشاورزان باید فعالیت‌های زراعی خود را با توجه به رژیم‌های حرارتی منطقه خود انتخاب کنند و در این زمینه باید تغییرات روزانه، تغییرات فصلی، اقلیم منطقه، و دیگر مسائل مربوط به دما را مدنظر قرار دهند (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۱۷). در این تحقیق، به منظور محاسبه واحدهای گرمایی از دماهای ۵ درجه سانتی‌گراد (گیاهان سردسیر) و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (گیاهان گرمسیر) به‌عنوان آستانه‌های پایینی و از دماهای ۳۰ درجه سانتی‌گراد (گیاهان سردسیر) و ۳۵ درجه سانتی‌گراد (گیاهان گرمسیر) به‌عنوان آستانه‌های بالایی استفاده شد. و دمای بین این آستانه‌ها (دماهای کمتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد) به‌عنوان دمای مطلوب برای محاسبه میزان واحدهای گرمایی استفاده شد. میزان واحدهای گرمایی از روش اختلاف دمای میانگین روزانه از دمای پایه محاسبه شده است.

تعیین روند

در این تحقیق برای تعیین روند داده‌ها از آزمون ناپارامتریک من- کندال استفاده شد. روش‌های ناپارامتریک دارای مزیت‌هایی نسبت به سایر توزیع‌ها و توزیع‌های پارامتریک هستند. آزمون ناپارامتری من- کندال برای تعیین روند در سری‌های زمانی استفاده می‌شود. یک مزیت این آزمون این است که احتیاجی ندارد که داده‌ها را به سایر توزیع‌ها تبدیل کند؛ مزیت دیگر اینکه حساسیت کمی به تغییرات ناگهانی در سری‌های همگن دارد (ژاگوس، ۲۰۰۶). این آزمون را ابتدا من^۱ (۱۹۴۵) ارائه داد و سپس کندال^۲ (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی آن را بسط و توسعه داد. این آزمون به دو روش محاسبه می‌شود:

۱. آزمون آماری (T) من- کندال

از این آزمون برای تصادفی‌بودن و تعیین روند در سری‌ها استفاده می‌شود. این آزمون برای مشخص کردن غیرپارامتریک بودن سری‌ها به کار گرفته می‌شود؛ بدین ترتیب که سری‌های آماری به ترتیب صعودی مرتب و رتبه‌بندی می‌شود و، بر اساس آن، تصادفی‌بودن داده‌ها با عدم روند مشخص می‌شود. در صورت وجود روند داده‌ها غیرتصادفی است و برای تعیین تصادفی‌بودن داده‌ها از آزمون رابطه^۲ استفاده می‌شود.

$$T = \frac{4p}{N(N-1)} - 1 \quad (2)$$

که T آماره من- کندال، N تعداد کل سال‌های آماری مورد استفاده، و P مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف ni است که بعد از آن قرار می‌گیرند و از رابطه^۳ به دست می‌آید (کاوایی و عساکره، ۱۳۸۴: ۲۵).
به منظور سنجش معنی‌دار بودن آماره T آماره بحرانی (t) از رابطه^۳ محاسبه شده است:

$$t = 0 \pm tg \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}} \quad (۳)$$

که در آن tg مقدار متغیر استاندارد (Z) متناظر با سطح احتمال آزمون است که در این تحقیق بر اساس احتمال ۹۵ درصد مقدار $tg = ۱٫۹۶$ است و در نتیجه مقدار ناحیه بحرانی برای ۲۵ سال آمار ایستگاه‌های منطقه معادل $t = ۰٫۲۷$ محاسبه شد. اگر $-۰٫۲۷ < T < +۰٫۲۷$ باشد، روندی وجود ندارد و اگر $T > ۰٫۲۷$ روند مثبت و اگر $T < -۰٫۲۷$ روند منفی وجود دارد.

۲. روش نموداری من-کندال (گرافیکی)

برای تعیین جهت روند، نوع و زمان تغییر به آزمون گرافیکی کندال نیاز است. بدین منظور، معمولاً از جدول‌های ویژه‌ای استفاده می‌شود؛ به طوری که ابتدا داده‌ها رتبه‌بندی می‌شوند و آماره t_i (نسبت رتبه i به رتبه‌های ماقبل) محاسبه می‌شود. سپس، فراوانی تجمعی آماره t_i به دست می‌آید و در ادامه امید ریاضی، واریانس، و شاخص من-کندال بر اساس رابطه‌های ۴ و ۵ و ۶ محاسبه می‌شود.

$$E_i = \frac{ni(ni-1)}{4} \quad (۴)$$

$$V_i = \frac{ni(ni-1)(2ni+5)}{72} \quad (۵)$$

$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad (۶)$$

برای بررسی تغییرات باید شاخص U_i نیز تعیین شود. مراحل محاسبه U_i به شرح زیر است: داده‌ها رتبه‌بندی می‌شود و آماره t_i (نسبت رتبه i به رتبه‌های مابعد) مشخص می‌شود. سپس، فراوانی تجمعی محاسبه می‌شود. امید ریاضی، واریانس، و شاخص U_i از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود.

$$E'_i = \frac{[N - (ni - 1)](N - ni)}{4} \quad (۷)$$

$$V'_i = \frac{[N - (ni - 1)](N - ni)[2(N - (ni - 1) + 5)]}{72} \quad (۸)$$

$$U'_i = \frac{(\sum t'_i - E'_i)}{\sqrt{V'_i}} \quad (۹)$$

در رابطه‌های ۸ و ۹، N حجم نمونه آماری مورد مطالعه است. در این روش مقادیر متوالی از مقدار u_{di} و u_{di} حاصله از آزمون من-کندال به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود؛ در این نمایش اگر مقادیر u و u از منحنی‌ها چندین بار روی همدیگر قرار بگیرند، روند یا تغییری وجود نخواهد داشت. ولی در جاهایی که منحنی‌ها همدیگر را قطع می‌کنند منحنی‌ها محل شروع روند با تغییرات را به صورت تقریبی به نمایش می‌گذارند. در مواقعی که $-۱٫۹۶ < u < +۱٫۹۶$ باشد، سری تصادفی است و روند خاصی نمی‌توان برای آن تصور کرد. اگر $u > +۱٫۹۶$ باشد، نشان‌دهنده روند مثبت است. اگر $u < -۱٫۹۶$ باشد، نشان‌دهنده روند منفی است. در سال ۱۹۸۸، این آزمون را سازمان جهانی هواشناسی (WMO) پیشنهاد کرد و از آن در بررسی معنی‌داری روند سری‌های اقلیمی به‌کرات و در موارد مختلف استفاده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های آماری طول فصل رشد و واحدهای گرمایی در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد طی سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸-۱۳۸۹ در ایستگاه‌های منتخب کشور

نام ایستگاه	آغاز دمای ۵ درجه سانتی‌گراد	خاتمه دمای ۵ درجه سانتی‌گراد	طول فصل رشد	میزان واحدهای گرمایی (درجه-روز)	ضریب تغییرات %	مجموع سالانه درجه-روز	اماره من-کندال (T)
آبادان	۱۰ بهمن	۱۷ دی	۳۴۳	۲۹۵۸	۱۰٫۶۱	۳۱۲۰	۰٫۰۸
اهواز	۴ بهمن	۲۶ دی	۳۵۷	۲۹۴۵	۸٫۵۲	۳۰۱۷	۰٫۰۲
اصفهان	۶ فروردین	۲۱ آبان	۲۳۱	۳۵۵۳	۶٫۶	۲۸۶۵	-۰٫۰۸
اراک	۱۸ فروردین	۱۴ آبان	۲۱۱	۳۳۳۶	۵٫۶۲	۲۶۱۵	۰٫۳۳*
ارومیه	۴ اردیبهشت	۱۰ آبان	۱۹۱	۲۷۲۵	۸٫۲۴	۲۹۲۶	۰٫۵۳
انزلی	۲۸ بهمن	۱۱ دی	۳۱۹	۴۱۳۱	۶٫۸۳	۴۲۳۱	۰٫۴۲*
بابلسر	۸ اسفند	۲۸ آذر	۲۹۵	۴۰۸۷	۱۰٫۸۱	۴۳۴۹	۰٫۱۲
بم	۱۴ بهمن	۱۰ دی	۳۳۱	۳۲۷۸	۶٫۹۳	۳۴۷۱	۰٫۰۸
بندرعباس	۱ بهمن	***	۳۶۵	۳۶۹۴	۵٫۱۲	۳۷۰۶	-۰٫۱۸
بوشهر	۱ بهمن	***	۳۶۵	۳۷۶۱	۶٫۹	۳۷۹۹	۰٫۱۶
بیرجند	۸ فروردین	۱۰ آبان	۲۱۸	۳۵۰۱	۷٫۷۸	۴۰۱۲	۰٫۲۵
تبریز	۲۳ فروردین	۱۹ آبان	۲۱۲	۳۱۴۲	۴٫۹	۳۳۴۹	۰٫۳۱*
تهران	۱۸ اسفند	۱۶ آذر	۲۷۳	۳۴۲۹	۷٫۴۸	۳۶۱۱	۰٫۱۸
خرم‌آباد	۱۷ فروردین	۲۵ آبان	۲۲۴	۳۳۶۶	۶٫۲۵	۳۸۱۰	-۰٫۱
خوی	۲۷ فروردین	۷ آبان	۱۹۶	۲۹۰۳	۱۰٫۴	۳۲۲۲	۰٫۳۸*
رامسر	۵ اسفند	۹ دی	۳۰۹	۴۰۶۲	۶٫۵	۴۲۱۵	۰٫۵۹*
رشت	۱۹ اسفند	۳۰ آذر	۲۸۶	۴۰۱۹	۵٫۷۵	۴۲۳۶	۰٫۳۸*
زاهدان	۱۹ اسفند	۲۶ آبان	۲۵۳	۴۱۱۲	۶٫۸	۴۶۶۵	۰٫۳۲*
سبزوار	۲۷ اسفند	۲ آذر	۲۵۰	۳۳۹۴	۷٫۹۵	۳۶۸۰	۰٫۱۶
سندج	۱ اردیبهشت	۱۰ آبان	۱۹۴	۲۹۷۰	۹٫۸۵	۳۴۱۷	۰٫۲۸*
شهرکرد	۱۸ اردیبهشت	۱۱ مهر	۱۴۷	۲۲۱۸	۱۳٫۵۵	۲۸۱۵	-۰٫۳۲*
شیراز	۲۷ اسفند	۴ آذر	۲۵۲	۳۸۳۱	۸٫۰۴	۴۲۴۲	-۰٫۰۳
قم	۲۸ اسفند	۲۵ آبان	۲۴۲	۳۱۹۲	۶٫۵	۳۵۰۱	-۰٫۰۹
قزوین	۲۵ فروردین	۲۱ آبان	۲۱۳	۳۲۲۳	۷٫۱	۳۶۳۶	۰٫۲۶
کرمانشاه	۲۹ فروردین	۱۵ آبان	۲۰۲	۳۲۴۰	۸٫۹	۳۶۸۶	۰٫۱۴
کرمان	۶ فروردین	۸ آبان	۲۱۸	۳۵۳۰	۷٫۳۲	۴۰۹۴	۰٫۴۷*
گرگان	۲۱ اسفند	۲۸ آذر	۲۸۱	۴۱۷۴	۴٫۱۵	۴۴۶۳	-۰٫۰۲
مشهد	۷ فروردین	۱۸ آبان	۲۲۶	۳۵۶۲	۶٫۸۹	۳۹۰۸	۰٫۴۸*
همدان	۹ اردیبهشت	۲۴ مهر	۱۷۰	۲۵۵۵	۱۱٫۸۸	۳۰۱۵	۰٫۴۸*
یاسوج	۱۷ فروردین	۲۱ آبان	۲۲۰	۳۵۱۷	۵٫۶	۳۸۳۶	-۰٫۰۹
یزد	۱۹ اسفند	۶ آذر	۲۶۲	۳۳۰۴	۸٫۶	۳۶۷۷	۰٫۰۳

***مراجعه به متن - * معنی‌دار بودن روند

یافته‌های پژوهش

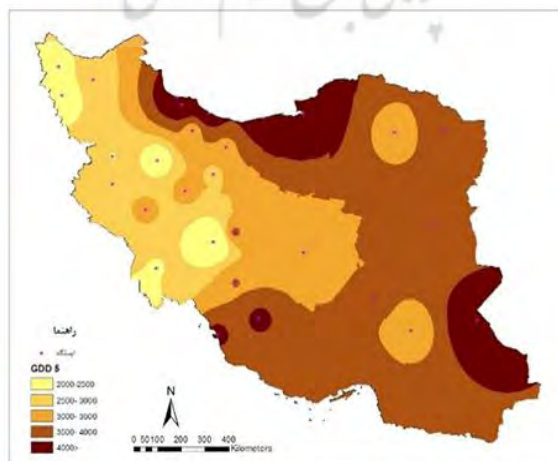
محاسبه واحدهای گرمایی طول فصل رشد بر مبنای پایه ۵ درجه سانتی‌گراد

برای محاسبه واحدهای گرمایی پایه ۵ درجه سانتی‌گراد، نخست تاریخ آغاز و خاتمه دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و طول فصل رشد استخراج شد. سپس، با توجه به طول دوره فصل رشد، میزان واحدهای گرمایی در طی آن برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد. میانگین رخداد تاریخ آغاز ۵ درجه سانتی‌گراد در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۱ بهمن در ایستگاه‌های بندرعباس و بوشهر تا ۱۸ اردیبهشت در ایستگاه شهرکرد متغیر است. میانگین رخداد اولین تاریخ خاتمه

دمای ۵ درجه در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۱۱ مهر در ایستگاه شهرکرد تا ۲۶ دی در ایستگاه اهواز متغیر است. در ایستگاه‌های بوشهر و بندرعباس، برای محاسبه دقیق‌تر طول فصل رشد، خاتمه دمای ۵ درجه سانتی‌گراد برابر با روز آخر دی‌ماه (۳۶۵) قرار داده شد و میانگین طول فصل رشد محاسبه شد. بنابراین، طول فصل رشد از جنوب به سمت غرب کشور کاهش یافته است. در نواحی شمالی، به سبب رطوبت و دمای بیشتر، طول فصل رشد طولانی‌تر از نواحی غربی است. به استناد جدول ۱، میانگین واحدهای گرمایی در طول فصل رشد در ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۲۲۱۸ تا ۴۱۷۴ درجه-روز متغیر است. کمترین آن به ایستگاه شهرکرد و بیشترین آن به ایستگاه گرگان تعلق دارد. از نظر میزان تغییرات بیشترین مقدار ضریب تغییرات در ایستگاه شهرکرد با ۱۳/۵۵ درصد و کمترین آن در ایستگاه گرگان ۴/۱۵ درصد حادث شده است. در ایستگاه‌های مناطق گرم و معتدل شرق و شمال کشور میزان واحدهای گرمایی در مقایسه با ایستگاه‌های سردسیر غرب و شمال غربی بیشتر است. نتایج به دست آمده از اعمال آزمون آماره T و آماره بحرانی t من- کندال مشخص می‌کند که در مجموع میانگین واحدهای گرمایی در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه در طی ۲۵ سال گذشته دارای روند در طول فصل رشد بوده است؛ به طوری که با آستانه دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد تغییرات در بیشتر ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته به جز دو ایستگاه سنندج و شهرکرد که دارای روند منفی یا کاهشی بوده است. در این تحقیق مناطقی از کشور که از نظر میزان واحدهای گرمایی بر پایه ۵ درجه سانتی‌گراد شرایط همگنی دارند در یک گروه قرار داده شدند. نتایج بررسی این شاخص در جدول ۲ ارائه شده است. میزان واحدهای گرمایی برای پایه حرارتی ۵ درجه سانتی‌گراد به پنج گروه در سطح کشور تقسیم شد. شکل ۲ پهنه‌بندی واحدهای گرمایی طول فصل رشد را در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد.

جدول ۲. طبقه‌بندی واحدهای گرمایی طول فصل رشد بر پایه دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد

گروه	میزان واحدهای گرمایی دمای ۵ درجه سانتی‌گراد	ایستگاه‌های هواشناسی
۱	۲۰۰۰-۲۵۰۰	شهرکرد
۲	۲۵۰۰-۳۰۰۰	اهواز، آبادان، همدان، ارومیه، سنندج، خوی
۳	۳۰۰۰-۳۵۰۰	تبریز، قم، یزد، بجم، سبزوار، تهران، اراک، قزوین، خرم‌آباد، کرمانشاه، بیرجند، یاسوج
۴	۳۵۰۰-۴۰۰۰	کرمان، مشهد، اصفهان، بوشهر، بندرعباس، شیراز
۵	۴۰۰۰ >	انزلی، رامسر، رشت، گرگان، زاهدان، بابلسر



شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی واحدهای گرمایی دمای ۵ درجه سانتی‌گراد

محاسبه واحدهای گرمایی طول فصل رشد بر مبنای پایه ۱۰ درجه سانتی گراد

بررسی تاریخ گذر دمای ۱۰ درجه سانتی گراد برای بسیاری از محصولات، به خصوص محصولات گرمسیری، اهمیت زیادی دارد بنابراین، در این تحقیق، طول فصل رشد برای این پایه حرارتی محاسبه شد. میانگین رخداد تاریخ آغاز ۱۰ درجه سانتی گراد در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۵ بهمن در ایستگاه بندرعباس تا ۶ تیر در ایستگاه شهرکرد متغیر است. میانگین رخداد خاتمه دمای ۱۰ درجه سانتی گراد در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۱۱ شهریور در ایستگاه شهرکرد تا ۱۹ دی در ایستگاه بندرعباس متغیر است. به استناد جدول ۳، میانگین طول فصل رشد در دمای ۱۰ درجه در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۶۷ روز در ایستگاه شهرکرد تا ۳۴۸ روز در ایستگاه بندرعباس متغیر است. به استناد جدول ۳، پایین‌ترین میزان واحدهای گرمایی طی فصل رشد برای این پایه مربوط به ایستگاه شهرکرد ۸۶۱ درجه-روز و بیشترین مقدار آن ۵۶۶۴ درجه-روز مربوط به ایستگاه بندرعباس است. از نظر میزان تغییرات، بیشترین مقدار ضریب تغییرات در ایستگاه شهرکرد با ۲۲ درصد و کمترین آن در ایستگاه بندرعباس با ۴/۳۸ درصد حادث شده است. با آستانه دمایی ۱۰ درجه سانتی گراد بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند مثبت و افزایشی‌اند؛ به جز دو ایستگاه آبادان و اهواز که دارای روند منفی و کاهش‌ی بوده‌اند.

جدول ۳. ویژگی‌های آماری طول فصل رشد و واحدهای گرمایی در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد طی سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸-۱۳۸۹ در ایستگاه‌های منتخب کشور

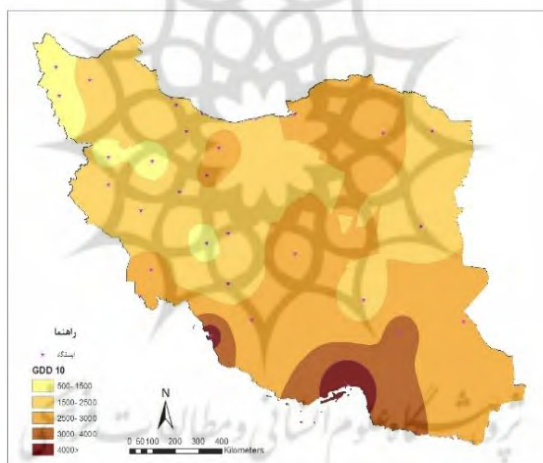
نام ایستگاه	آغاز دمای ۱۰ درجه سانتی گراد	خاتمه دمای ۱۰ درجه سانتی گراد	طول فصل رشد	گرمایی واحدهای (درجه-روز)	ضریب تغییرات %	مجموع سالانه درجه-روز	آماره من-کندال (T)
آبادان	۱۰ اسفند	۱۷ آذر	۲۸۲	۳۲۱۴	۸,۸۱	۲۵۲۹	-۰,۴۳*
اهواز	۳۰ بهمن	۲۱ آذر	۲۹۶	۳۱۱۶	۶,۷	۳۳۵۰	-۰,۳۶*
اصفهان	۲ اردیبهشت	۲۶ مهر	۱۷۹	۲۶۷۸	۷,۴۳	۳۰۰۱	۰,۰۸
اراک	۲۲ اردیبهشت	۱۸ مهر	۱۵۱	۲۰۸۹	۹,۳۷	۲۴۲۳	۰,۴۳*
ارومیه	۸ خرداد	۵ مهر	۱۲۲	۱۴۸۵	۱۱,۷۶	۱۷۶۳	۰,۰۰۶
انزلی	۲۱ فروردین	۱۲ آذر	۲۳۸	۲۵۵۱	۷,۵۳	۲۶۴۶	۰,۴۳*
بابلسر	۲۴ فروردین	۲۵ آبان	۲۱۷	۲۵۴۲	۱۰,۵۵	۲۷۵۰	۰,۱۲
بم	۱۵ اسفند	۹ آذر	۲۶۹	۴۰۶۰	۶,۷	۴۳۶۲	-۰,۰۰۶
بندرعباس	۵ بهمن	۱۹ دی	۳۴۸	۵۶۶۴	۴,۳۸	۵۷۷۲	۰,۰۶
بوشهر	۱۸ بهمن	۱۸ دی	۳۳۵	۵۰۸۴	۴,۵۱	۵۲۱۵	۰,۴۳*
بیرجند	۳ اردیبهشت	۱۰ مهر	۱۶۳	۲۳۸۸	۱۰,۹۸	۲۸۷۰	۰,۳۴*
تبریز	۲۳ اردیبهشت	۲۶ مهر	۱۵۹	۱۹۷۱	۹,۰۱	۲۲۹۲	۰,۳۶*
تهران	۱۸ فروردین	۲۱ آبان	۲۱۹	۳۲۴۷	۶,۴	۳۴۱۷	۰,۳۹*
خرم آباد	۲۷ اردیبهشت	۲۷ مهر	۱۵۵	۲۳۸۸	۱۲,۹	۲۹۰۶	۰,۴*
خوی	۱ خرداد	۱۲ مهر	۱۳۶	۱۶۵۵	۱۳,۶۵	۲۰۱۰	۰,۴۶*
رامسر	۲۷ فروردین	۴ آذر	۲۲۴	۲۴۷۶	۷,۷	۲۶۱۴	۰,۴۴*
رشت	۳۰ فروردین	۲۶ آبان	۲۱۱	۲۴۸۲	۶,۸۶	۲۶۸۳	۰,۲
زاهدان	۱۶ فروردین	۱۸ مهر	۱۸۸	۲۹۱۲	۱۰,۷۵	۳۴۹۵	۰,۵*
سبزوار	۲۷ فروردین	۸ آبان	۱۹۸	۳۱۳۴	۸,۸۶	۳۴۲۸	۰,۰۶
سنندج	۱۲ خرداد	۳ مهر	۱۱۵	۱۷۲۱	۱۸,۶۶	۲۳۵۶	۰,۵۴*
شهرکرد	۶ تیر	۱۱ شهریور	۶۷	۸۶۱	۲۲	۱۶۲۷	-۰,۱۴
شیراز	۲۹ فروردین	۷ آبان	۱۹۴	۳۰۳۰	۷,۰۷	۳۳۷۶	-۰,۰۲
قم	۲۵ فروردین	۳۰ مهر	۱۹۱	۳۰۸۴	۷,۳۲	۳۴۱۱	۰,۵۱*
قزوین	۲۷ اردیبهشت	۲۴ مهر	۱۵۱	۱۹۹۷	۱۰,۳۲	۲۳۹۹	۰,۳۸*
کرمانشاه	۱۰ خرداد	۱۷ مهر	۱۳۱	۱۸۴۳	۱۱,۵۱	۲۵۷۵	۰,۲۲
کرمان	۱۱ اردیبهشت	۳۱ شهریور	۱۴۴	۲۱۰۲	۱۱,۲۷	۲۴۷۸	۰,۴۴*
گرگان	۲۱ فروردین	۲۱ آبان	۲۰۹	۲۵۵۴	۷,۴	۳۱۱۸	۰,۳۴*
مشهد	۶ اردیبهشت	۱۹ مهر	۱۶۸	۲۳۲۵	۱۱,۸۸	۲۶۵۷	۰,۳۸*
همدان	۲۵ خرداد	۲۰ شهریور	۸۸	۱۱۸۲	۱۸	۱۸۳۱	۰,۵۶*
یاسوج	۱۸ اردیبهشت	۱۵ مهر	۱۵۲	۲۰۷۵	۱۰,۱۵	۲۴۷۱	.
یزد	۱۵ فروردین	۱۴ آبان	۲۱۴	۳۳۹۷	۶,۰۵	۳۷۲۴	۰,۴*

* معنی‌دار بودن روند

در ایستگاه‌های مناطق گرم جنوب کشور میزان واحدهای گرمایی در مقایسه با ایستگاه‌های سردسیر غرب و شمال غربی بیشتر است که نشان‌دهنده امکان کاشت گیاهان گرمسیری در این مناطق و امکان برآورد واحدهای گرمایی مورد نیاز این گیاهان است. مجموع واحدهای گرمای سالانه بر پایه دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد طبق جدول ۴ به پنج گروه تقسیم می‌شود. شکل ۳ پهنه‌بندی واحدهای گرمایی طول فصل رشد بر پایه دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.

جدول ۴. طبقه‌بندی واحدهای گرمایی طول فصل رشد بر پایه دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد

گروه	میزان واحدهای گرمایی دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد	ایستگاه‌های هواشناسی
۱	۵۰۰-۱۵۰۰	ارومیه، شهرکرد، همدان
۲	۱۵۰۰-۲۵۰۰	سنندج، خوی، اراک، تبریز، قزوین، کرمانشاه، کرمان، یاسوج، رامسر، رشت، مشهد، بیرجند، خرم‌آباد
۳	۲۵۰۰-۳۰۰۰	انزلی، اصفهان، بابل، گرگان، زاهدان
۴	۳۰۰۰-۴۰۰۰	اهواز، آبادان، سبزوار، شیراز، تهران، قم، یزد
۵	۴۰۰۰>	بم، بوشهر، بندرعباس



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی واحدهای گرمایی دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد

تحلیل آزمون نموداری من - کندال برای تعیین نوع و زمان تغییر سری‌های دمایی واحدهای گرمایی

برای تعیین جهت و سال شروع روند یا جهش ناگهانی، نخست نمودارهای u و u برای پارامترهای واحدهای گرمایی ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد رسم شد که نتایج آن رسم بیش از ۶۰ نمودار بود. بعد از قراردادن نمودارهای مربوط به هر جدول، به تفسیر و تحلیل آن‌ها پرداخته شد که به دلیل حجم زیاد نمودارها امکان ترسیم همه آن‌ها در این بحث وجود ندارد و فقط چهار نمونه از آن درج شده است. در این تحقیق وجود هرگونه روند با حرف T (مخفف Trend)، تغییر ناگهانی (جهش) در تقاطع مؤلفه‌های u و u با حرف A (مخفف Abrupt)، افزایش یک عنصر با حرف I (مخفف Increase)، و کاهش آن با حرف D (مخفف Decrease) مشخص شده است (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷: ۲۸-۱۳) (جدول ۵).

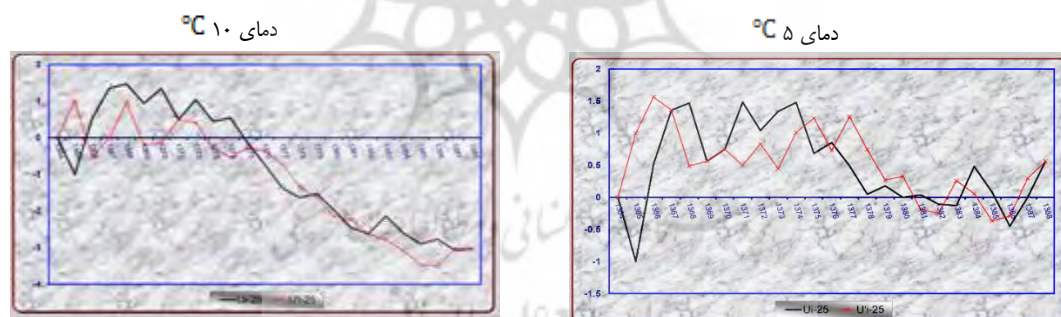
جدول ۵. نتایج آزمون گرافیکی من- کندال در تعیین نوع و زمان تغییرات واحدهای گرمایی طول فصل رشد در ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره	نام ایستگاه	میزان واحدهای گرمایی دمای ۱۰ درجه سانتی گراد (درجه- روز)	شماره	نام ایستگاه	میزان واحدهای گرمایی دمای ۵ درجه سانتی گراد (درجه- روز)
۱	آبادان	AD۱۳۶۷	۱۷	رشت	-
۲	اهواز	TD۱۳۷۷	۱۸	زاهدان	TI۱۳۷۳
۳	اصفهان	-	۱۹	سبزوار	AI۱۳۷۴
۴	اراک	TI۱۳۷۷	۲۰	سنندج	TI۱۳۷۵
۵	ارومیه	AI۱۳۷۶	۲۱	شهرکرد	-
۶	انزلی	TI۱۳۸۲	۲۲	شیراز	AI۱۳۷۴
۷	بابلسر	-	۲۳	قم	TI۱۳۷۵
۸	بم	-	۲۴	قزوین	TI۱۳۸۱
۹	بندرعباس	AD۱۳۷۵	۲۵	کرمانشاه	-
۱۰	بوشهر	AI۱۳۸۴	۲۶	کرمان	-
۱۱	بیرجند	AI۱۳۷۶	۲۷	گرگان	TI۱۳۷۲
۱۲	تبریز	-	۲۸	مشهد	TI۱۳۷۴
۱۳	تهران	-	۲۹	همدان	AI۱۳۷۲
۱۴	خرم‌آباد	-	۳۰	یاسوج	AI۱۳۷۴
۱۵	خوی	TI ۱۳۷۶	۳۱	یزد	TI۱۳۷۶
۱۶	رامسر	TI۱۳۷۶			TI۱۳۷۴

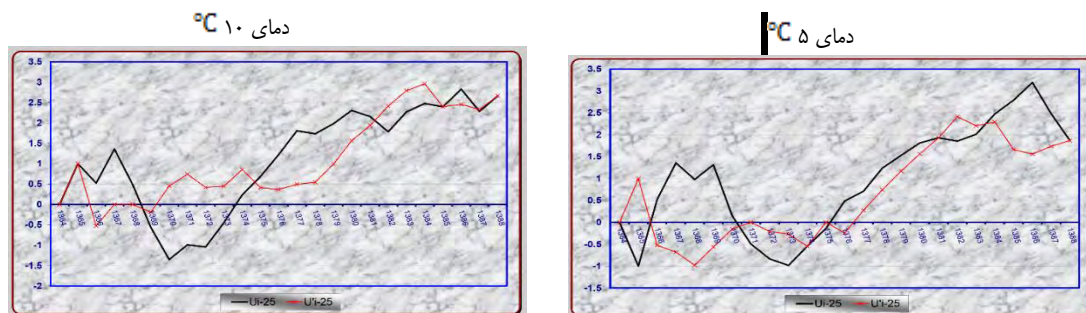
با توجه به نمودارهای ترسیم‌شده در سری‌های زمانی، واحدهای گرمایی طول فصل رشد نشان می‌دهند که اکثریت ایستگاه‌ها دارای تغییر معنادار و تغییرات ناگهانی و افزایشی بوده‌اند (شکل ۶).

بررسی آزمون نموداری من- کندال بر روی داده‌های واحد گرمایی ایستگاه آبادان در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد خطوط U و U در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۰، ۱۳۷۱، ۱۳۷۵، ۱۳۷۷، ۱۳۸۱، ۱۳۸۳، ۱۳۸۴، و ۱۳۸۶ در داخل محدوده بحرانی $\pm ۱٫۹۶$ هم‌دیگر را قطع کرده‌اند که بیانگر جهش و تغییرات ناگهانی همراه با نوسان در این سال‌ها بوده است و هیچ‌گونه روند مشخص را نمایان نمی‌کند. اما در مورد دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، بررسی نمودارهای من- کندال در ایستگاه آبادان نشان داد که خطوط U و U در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۱، ۱۳۷۵، و ۱۳۷۹ در داخل محدوده بحرانی $\pm ۱٫۹۶$ هم‌دیگر را قطع کرده‌اند و در این سال‌ها جهش انجام گرفته است؛ ولی در سال ۱۳۸۱ این خطوط در خارج از محدوده بحرانی یکدیگر را قطع کرده‌اند که وجود روند کاهشی واحدهای گرمایی را تأیید می‌کند (شکل ۴). نمودارهای من- کندال بازه زمانی (۱۳۶۴-۱۳۸۹) در ایستگاه قزوین نشان‌دهنده تحرک خارج از محدوده همراه با چندین جهش بارز است. نمودار من- کندال در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد خطوط U و U در سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۶۶، ۱۳۷۱، ۱۳۷۴، و ۱۳۷۵ در داخل محدوده بحرانی $\pm ۱٫۹۶$ هم‌دیگر را قطع کرده‌اند. بنابراین، تغییرات ناگهانی در سال‌ها رخ داده و هیچ‌گونه روندی مشاهده نمی‌شود. اما در سال ۱۳۸۱ این خطوط در خارج از محدوده بحرانی هم‌دیگر را قطع کرده‌اند که روند افزایشی واحدهای گرمایی را نشان می‌دهد. نمودار من- کندال در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه قزوین نشان می‌دهد خطوط U و U در سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۶۵، ۱۳۶۹، و ۱۳۷۵ دارای جهش افزایشی است؛ اما در سال ۱۳۸۲ این خطوط در خارج از محدوده بحرانی هم‌دیگر را قطع کرده‌اند که روند افزایشی واحدهای گرمایی را نشان می‌دهد (شکل ۵). به طور کلی، با آستانه دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد تغییرات، به غیر از ایستگاه‌های آبادان و

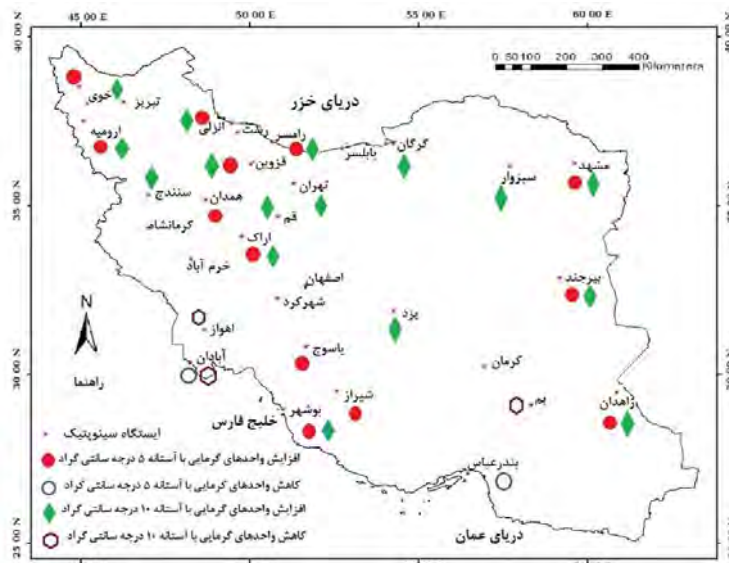
بندرعباس، که دارای تغییر ناگهانی و کاهشی در سال ۱۳۷۵ می‌باشند، بقیه ایستگاه‌ها دارای روند و جهش افزایشی‌اند. ایستگاه‌های اراک، خوی، رامسر، زاهدان، و مشهد در دهه ۱۳۷۰ به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۷۶، ۱۳۷۴، و ۱۳۷۲ روند ناگهانی و افزایشی نشان می‌دهند و ایستگاه‌های انزلی، قزوین در دهه ۱۳۸۰ در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴ دارای روند افزایشی بوده‌اند. ایستگاه بوشهر در سال‌های ۱۳۶۹ و ۱۳۸۴ دارای جهش افزایشی بوده است. ایستگاه‌های ارومیه، بیرجند، شیراز، همدان، و یاسوج در دهه ۱۳۷۰ به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۷۴، ۱۳۷۲، و ۱۳۷۴ دارای تغییر ناگهانی و افزایشی بوده‌اند. همچنین، با در نظر گرفتن آستانه دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای بررسی سری‌های واحدهای گرمایی، نتایج زیر حاصل شد. ایستگاه‌های آبادان و اهواز در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۷۷ روند ناگهانی و کاهشی دارند. ایستگاه گرگان با افزایش واحدهای گرمایی در طول فصل رشد در سال ۱۳۷۲، ایستگاه‌های اراک و زاهدان در سال ۱۳۷۳، رامسر و مشهد در سال ۱۳۷۴، ایستگاه‌های قم و سنندج در سال ۱۳۷۵، ایستگاه یزد در سال ۱۳۷۶، و ایستگاه‌های انزلی و تهران در سال ۱۳۸۲ دارای روند ناگهانی و افزایشی‌اند. در بین سری‌های واحدهای گرمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد، برخلاف ایستگاه بهم، که تغییر ناگهانی و کاهشی در سال ۱۳۷۵ داشته است، ایستگاه‌های ارومیه، بوشهر، بیرجند، خوی، و سبزوار به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۷۳، ۱۳۸۰، ۱۳۷۶، و ۱۳۷۴ دارای تغییرات ناگهانی و افزایشی بوده‌اند. روند افزایشی واحدهای گرمایی می‌تواند ناشی از تغییر اقلیم و گرمایش جهانی باشد. تنوع واحدهای گرمایی در کشور می‌تواند گویای این باشد که در مناطق مختلف کشورمان، که دارای طول روزهای متفاوت‌اند، باید به تقویم کشت توجه ویژه داشت و تقویم‌های کشت متفاوتی برای مناطق مختلف تدوین کرد. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان پیشنهاد کرد که در مناطقی که طول فصل رشد کاهش می‌یابد، با توجه به اینکه کشاورزان با کاهش عملکرد محصول و همچنین محصولاتی که به خوبی نرسیده‌اند مواجه‌اند، کشاورزان بهتر است از کشت محصولات با دوره رشد کمتر یا گیاهان زودرس استفاده کنند تا انرژی حرارتی مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد تأمین شود.



شکل ۴. نمودار آزمون معنی‌داری من- کندال واحدهای گرمایی ایستگاه آبادان در دماهای پایه ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در بازه ۱۳۶۴-۱۳۸۹



شکل ۵. نمودار آزمون معنی‌داری من- کندال واحدهای گرمایی ایستگاه قزوین در دماهای پایه ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در بازه ۱۳۶۴-۱۳۸۹



شکل ۶. تغییرات واحدهای گرمایی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات واحدهای گرمایی طول فصل رشد با آستانه‌های دمایی ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد که بیشتر تغییرات انجام‌گرفته از نوع تغییرات ناگهانی است و تعداد محدودی از آن‌ها دارای روند آرام بوده‌اند. به‌طوری‌که با آستانه‌ی دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد تغییرات به غیر از ایستگاه بندرعباس، که دارای تغییر ناگهانی و کاهشی در سال ۱۳۷۵ است، بقیه ایستگاه‌ها دارای روند و جهش افزایشی‌اند. با در نظر گرفتن آستانه‌ی دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای بررسی سری‌های واحدهای گرمایی این نتیجه به‌دست آمد که ایستگاه‌های آبادان و اهواز دارای روند ناگهانی و کاهشی‌اند و سایر ایستگاه‌ها مانند گرگان، اراک، زاهدان، رامسر، مشهد، قم، سنندج، انزلی، و تهران دارای روند ناگهانی و افزایشی‌اند. در بین سری‌های واحدهای گرمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد، برخلاف ایستگاه بم، که جهش ناگهانی و کاهشی داشته است، ایستگاه‌های ارومیه، بوشهر، بیرجند، خوی، و سبزوار دارای جهش ناگهانی و افزایشی بوده‌اند. همچنین، زمان تغییر عناصر در ایستگاه‌ها متفاوت و نشان‌دهنده‌ی عدم هماهنگی پدیده‌ی تغییر در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. نتایج تحقیق تغییرات بیشتری را در سری‌های مربوط به واحدهای گرمایی با آستانه‌های دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به سری‌هایی با آستانه‌ی ۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش می‌تواند در راستای نتایج ترکی (۱۳۸۹: ۴۰) باشد که در آن تغییرات در بین سری‌هایی با آستانه‌ی ۱۰ درجه از فراوانی و نظم بهتری نسبت به سری‌هایی با آستانه‌ی ۵ درجه برخوردارند. میزان واحدهای گرمایی برای پایه‌ی حرارتی ۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ درجه سانتی‌گراد به پنج گروه تقسیم می‌شود. نقشه‌ی پهنه‌بندی واحدهای گرمایی نشان داد که واحدهای گرمایی طول فصل رشد در پایه‌ی دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد از جنوب به شمال کشور و از غرب به شرق افزایش می‌یابد و در پایه‌ی دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد از جنوب به شمال کشور کاهش و از غرب به شرق کشور افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان پیشنهاد کرد که در مناطقی که طول فصل رشد کاهش می‌یابد، با توجه به اینکه کشاورزان با کاهش عملکرد محصول و همچنین محصولاتی که به‌خوبی نرسیده‌اند مواجه‌اند، کشاورزان بهتر است از کشت محصولات با دوره‌ی رشد کمتر یا گیاهان زودرس استفاده کنند تا انرژی حرارتی مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد تأمین شود.

منابع

- ترکی، م.؛ مظفری، غ. ع. (۱۳۸۹)، بررسی روند تغییرات طول فصل رشد در ایران، اندیشه جغرافیایی، ۵۴، ۴ (۸): ۴۳-۲۵.
- لشنی زند، م.؛ پروانه، ب. و امیدیه مهر، ف. (۱۳۹۳). نقش مدیریت شهری در تعدیل نوسانات آسایش بیوکلیماتیک شهر خرم‌آباد در شرایط تغییر اقلیم، آمایش محیط. ۷(۲۶): ۱۱۱-۱۳۰.
- کاوایی م. ر.؛ عساکره، ح. (۱۳۸۴). بررسی آماری روند بلند مدت بارش سالانه‌ی اصفهان، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، ۱۸(۱): ۱۶۲-۱۴۳.
- کوچکی، ع. و علیزاده، ا. (۱۳۷۵). اصول زراعت در مناطق خشک، چ ۹، مشهد: انتشارات آستان قدس.
- صداقت‌کردار، ع.ا. و رحیم‌زاده، ف. (۱۳۸۶). تغییرات طول دوره رشد گیاهی در نیمه دوم قرن بیستم در کشور، مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۷۵: ۱۸۲-۱۹۲.
- عزیزی، ق. و روشنی، م. (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من- کندال، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴: ۱۳-۲۸.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۸). اصول هیدرولوژی کاربردی، چ ۲۷، مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.
- ماوی، ا.ه. (۱۳۸۲). اصول و مبانی هواشناسی کشاورزی، ترجمه غلامعلی مظفری، انتشارات نیک‌پندار.
- مظاهری، د. و مجنون حسینی، ن. (۱۳۸۰). مبانی زراعت عمومی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- مظفری، غ.ع.؛ ترکی، م. و مهرشاهی، د. (۱۳۹۳). ارزیابی تغییرات طول دوره رشد ناشی از تغییرات اقلیمی در مناطق شمالی ایران، سومین همایش بین‌المللی تغییر اقلیم و گاه‌شناسی درختی در اکوسیستم‌های طبیعی، پژوهشکده اکوسیستم‌های خزری، ساری.
- مظفری، غ.ع. و دهقان، ح. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی طول فصل رشد گیاهان بر مبنای ویژگی‌های دمایی در ایران، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۱(۲۱): ۱۲۱-۱۳۷.
- معروف‌نژاد، ع. و قاسمی، ش. (۱۳۹۵). روند تغییرات دما با استفاده از روش من- کندال (مطالعه موردی چهار شهرستان استان چهارمحال و بختیاری)، فصل‌نامه آمایش محیطی، ۳۷: ۱۴۹-۱۶۶.
- میرمحمدی مبینی، ع. و ترکش اصفهانی، س. (۱۳۸۳). مدیریت تنش‌های سرما و یخ‌زدگی گیاهان زراعی و باغی، اصفهان: انتشارات جهاد دانشگاهی (واحد صنعتی اصفهان).
- موسوی بایگی، م. و اشرف، ب. (۱۳۸۸). هوا و اقلیم‌شناسی در کشاورزی، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- Anandhi, A. (2016). Growing degree days ° Ecosystem indicator for changing diurnal temperatures and their impact on corn growth stages in Kansas, *Ecological Indicators*, 61(2): 149-158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.023>
- Alizadeh, A. (2009). *Applied Hydrology*, Astan Quds publication, Mashhad.
- Azizi, GH. And Roushani, M. (2008). Using Mann-Kendall Test to Recognize of Climate Change in Caspian Sea Southern Coasts, *Physical Geography Research Quarterly*, 2(0): 13-28.
- Baker, D.G.; Sharratt, B.S.; Chiang, H.C.; Zandlo, J.A. and Ruschy, D.L. (1984). Base temperature selection for the prediction of European Corn Borer In star by the growing degree day method, *Agriculture and Forest Meteorology*, 32: 55-60. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(84\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0168-1923(84)90028-5)

- Chmielewski, F.-M. and Rötzer, T. (2001). Response of tree phenology to climate change across Europe, *Agricultural and Meteorology*, 108(2): 101-112. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00233-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00233-7).
- Koocheki, A. and Alizadedh, A. (1996). *Principles of agriculture in arid areas*, Astan Quds publication. Mashhad.
- FAO (1978). Reports of the agro-ecological zones project, *World Soil Resources Reports, Rome, Italy*, 48: 140-178.
- Frich, P.; Alexander, L.V.; Della-Marta, P.; Gleason, B.; Haylock, M.; Klein Tank, A.M. G. and Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Climate Research*, 19: 193-212.
- Guan, B.T.; Chung, C.H.; Lin, S.T. and Shen, C. (2009). Quantifying height growth and monthly growing degree day relationship of plantation Taiwan spruce, *Forest Ecology and Management*, (257): 2270-2276. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.03.003>
- Jaagus, J. (2006). Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation, *Theoretical and Applied Climatology*, (83): 77-88. [https:// DOI 10.1007/s00704-005-0161-0](https://doi.org/10.1007/s00704-005-0161-0)
- Jeong, S.J.; Ho, C.H.; Gim, H.J. and Brown, M.E. (2011). Phenology shifts at start Vs end of growing season in temperate vegetation over the Northern Hemisphere for the period 1982° 2008. *Global Change Biology*, 17(7): 2385-2399. [https:// 10.1111/j.1365-2486.2011.02397.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02397.x).
- Kadioglu, M. and Saylan, L. (2001). Trends of Growing Degree-Days in Turkey, *Water, air and soil pollution*, 126(1-2): 83-96. [https://10.1023/A:1005299619084](https://doi.org/10.1023/A:1005299619084).
- Lashanizand, M.; Parvane, B. and Omidimehr, F. (2014). The role of urban management in moderating fluctuations Khorramabad city bioclimatic comfort on climate change conditions, *Quarterly environmental based territorial planning (Amayesh)*, 7(26): 111-130.
- Linderholm, H.W. (2006). Growing season changes in the last century, *Agriculture and Forest Meteorology*, 137(1-2): 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.006>.
- Mavi, H.S. (2003). *Principles of agricultural meteorology*, Translated by Gholam Ali Mozaffari, First Edition, Nike Pendar Publications: 496.
- Maarofnejad, A. and Ghasami, S.H. (2017). Analysis of changes using the method of Mann-Kendall (Case Study of Four townships of Chaharmahal and Bakhtiari Province), *Journal Management System*, 10(37): 149-166.
- Mazaheri, D. and Majnoon Hosseini, N. (2001). *Basic principles of agriculture*, Tehran University Press, First Edition: 412.
- Mirmeybodi, A. and Torkash Esfahani, S. (2004). *Management of cold and frost tensions in crops and garden plants*, Jihad Daneshgahi Publishing House, Isfahan Industrial Estate.
- Mousavi Baygi, M. and Ashraf, B. (2009). *Temperature and climatology in the farming*, Ferdowsi University Press Mashhad.
- Mozafari, G.A.; Torki, M. and Mehrshahi, D. (2014). Assessment of Changes in the Growth Period Caused by Climate Change in Northern Iran, *Third International Conference on Climate Change and Dendrochronology in Natural Ecosystems*, Caspian Ecosystem Institute, Sarri. <https://t.me/Shamsbalapour>.
- Sharratt, B.S.; Sheaffer, C.C. and Baker, D.G. (1989). Base temperature for the application of the Growing-degree-day Model to field-grown Alfalfa, *Field Crop research*, 21: 92-102. [https://doi.org/10.1016/03784290\(89\)90045-2](https://doi.org/10.1016/03784290(89)90045-2).

- Sedaghat kerdar, A.A. and Rahimzadeh, F. (2007). Variation of growing season length (GSL) over second half of 20th in Iran, *Quarterly Pajouhesh-VA-Sazandegi*, 20(2): 182-193.
- Torki, M.; Gholamali, M. and Dehghan, H. (2014). The survey of growing season length trend and its zoning in Iran, *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 5(1): 179-188. <http://www.innspub.net>
- Yuan, J.; Manyu, D.; Chutao, Z. and Dayong, ZH. (2012). Trends in the thermal growing season throughout the Tibetan Plateau during 1960° 2009, *Agricultural and Forest Meteorology*, 166-167: 201-206. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.07.013>.

