



Temperature Zoning: a Guide to Crop Management in Isfahan Province

Amir Hooshang Jalali¹ * and Alireza Nikouei¹

1- Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

2- Economic, Social and Extension Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

(*- Corresponding author's Email: ah.jalali@areeo.ac.ir)

Received: 02-12-2025
Revised: 13-02-2026
Accepted: 21-02-2026
Available Online: 10-05-2026

How to cite this article:

Jalali, A. H., & Nikouei, A. (2026). Temperature zoning: a guide to crop management in Isfahan province. *Journal of Agroecology*, 17(4), 645-658. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96805.1261>

Introduction

The temperature varies across species, but there is a linear relationship between growing degree days and plant growth rate. Growing degree-days (GDD) are used to classify plants by flowering date, estimate harvest maturity, and predict the time between two growth stages. In a study in Ardabil, the findings indicated that the temperature of the region is correlated with the temperature of corn growth, and based on the zoning, about 16% of the total area of the province was identified as very suitable, 22% as suitable, 27% as moderate, and about 35% as unsuitable for corn cultivation. The aim of this study is to zone GDD and identify ranges of cumulative growth degree days that can be used to more accurately determine the amount of crop cultivation and their production management across different counties of Isfahan province.

Materials and Methods

In this study, 30-year daily temperature statistics (minimum, maximum, and average) from 33 meteorological stations were used to calculate GDD and growing season length (1984 to 2021). To calculate thermal units, the first growing season length for temperature thresholds of 5°C and 10°C was extracted using the Jillosy coding method (March 3rd with code 1 and March 2nd with code 365), and then the growing season thermal units were calculated by subtracting the average daily temperature from the base temperature. Finally, zoning maps were drawn for each indicator in ArcGIS. Despite differences in definitions of the growing season, temperature and humidity play a special role in all of them. According to the definition of the World Meteorological Organization's Commission on Climatology/Climate Variability, the length of the growing season is the time interval between the first period after July 10th in which the average daily temperature is above 5°C for at least 6 consecutive days (as the starting point) and the first 6-day period with an average daily temperature below 5°C (as the ending point).



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96805.1261>

Results and Discussion

The cities of Isfahan province were divided into 4 groups based on a base temperature of 5°C, which corresponded to a range of 2500 to 5000 degree-days of temperature growth. This number changed from 1500 to 4500 degrees Celsius for a base temperature of 10°C. Based on a base temperature of 5°C, the shortest growing season length of 114-200 days was observed in the western and southern regions of the province, and the longest growing season length of 365-331 days was observed in the northern and eastern regions of Isfahan province. For a base temperature of 10°C, a similar geographical trend was observed, with the difference that the range of the shortest and longest growing season lengths was (72-140) and (306-261) days, respectively. The correlation coefficient between GDD at base temperatures of 5 and 10°C and longitude was significant at the 95% level. The relationship between the temperature units received during the growing season and longitude at the base temperatures of 5 and 10 °C increased from west in east of Isfahan province.

Conclusion

The results showed that in Isfahan province, the length of the growing season and the absorbed GDD increase as one moves from west to east. Moving from north to south of the province was an inverse relationship. Based on the base temperature of 5°C, the shortest growing season length is 114-200 days in the western and southern regions of the province, and the longest growing season length is 331-365 days in the northern and eastern regions of Isfahan province. For the base temperature of 10°C, a similar geographical trend is observed, with the difference that the range of the shortest and longest growing season lengths is (72-140) and (306-261) days, respectively. Considering the base temperatures of 5°C and 10°C, the cities of Isfahan province are classified in the range of 1500-5000 GDD. With the help of this classification, it is possible to predict the time of occurrence of weeds and pests in different regions. Certainly, by combining temperature zoning with other elements required by each plant (soil, topography and precipitation), more comprehensive information will be obtained.

Keywords: Base temperature, Growing season, Growth Degree Days, Phenology

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، ص ۶۴۵-۶۵۸

پهنه‌بندی دمایی: راهنمای مدیریت گیاهان زراعی در استان اصفهان

امیر هوشنگ جلالی^{۱*} و علیرضا نیکوئی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲

چکیده

دما، عامل مهمی در فنولوژی رشدونمو گیاهان و در نتیجه عملکرد آن‌ها است. در این مطالعه از آمار دمایی روزانه ۳۰ ساله (حداقل، حداکثر و متوسط) ۳۳ ایستگاه هواشناسی برای محاسبه درجه-روز-رشد (GDD) و طول فصل رشد (طی سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۰) استفاده شد. شهرهای استان اصفهان براساس دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد در چهار گروه قرار گرفتند که طیفی از ۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰ درجه روز رشد دما دریافت می‌نمایند. این عدد برای دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دامنه‌ای از ۱۵۰۰ تا ۴۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌یابد. براساس دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد، کوتاه‌ترین طول دوره رشد معادل ۲۰۰-۱۱۴ روز در مناطق غرب و جنوب استان و بلندترین طول دوره رشد معادل ۳۶۵-۳۳۱ روز در مناطق شمال و شرق استان اصفهان دیده می‌شوند. برای دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، روند جغرافیایی مشابهی مشاهده می‌شود، با این تفاوت که دامنه کوتاه‌ترین و بلندترین طول دوره فصل رشد به ترتیب برابر ۱۴۰-۷۲ و ۳۰۶-۲۶۱ روز می‌باشد. ضریب همبستگی بین GDD در دماهای پایه ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد و طول جغرافیایی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. رابطه بین واحدهای دمایی دریافتی در طول فصل رشد و طول جغرافیایی در دمای پایه ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد از غرب به شرق استان اصفهان افزایشی بود. با توجه به نتایج این مطالعه، با طبقه‌بندی GDD در مناطق مختلف استان اصفهان، می‌توان مدیریت تاریخ کاشت محصولات زراعی را بهبود بخشید و پیش‌بینی مناسبی برای امکان ورود ارقام جدید در تناوب‌های زراعی داشت.

واژه‌های کلیدی: درجه-روز-رشد، دمای پایه، فصل رشد، فنولوژی

مقدمه

رشدونمو گیاهان به دما بستگی دارد که این عامل تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی است. مقدار انرژی گرمایی که یک موجود زنده در طول یک دوره زمانی دریافت می‌کند، اغلب به صورت «درجه-روز-رشد» بیان می‌شود. عدم دریافت دمای کافی در طی رشد باعث کاهش عملکرد محصولاتی مثل برنج (*Oryza sativa* L.)، سویا (*Glycine max* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

می‌گردد (Parthasarathi et al., 2013). این مفهوم معمولاً در کشاورزی و مدیریت منابع طبیعی برای پیش‌بینی رویدادها و برنامه‌ریزی فعالیت‌های مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Dhillon et al., 2020). هر محصولی برای شروع جوانه‌زنی و رشد خود به دمای حداقلی نیاز دارد که در کمتر از آن، رشد متوقف می‌شود. این دما برای هرگونه متفاوت است، اما یک رابطه خطی بین درجه-روز-رشد و سرعت رشد گیاه وجود دارد (Zhang et al., 2018). درجه-روز-رشد برای طبقه‌بندی گیاهان از نظر تاریخ گل‌دهی آن‌ها، برای تعیین رسیدگی جهت برداشت و پیش‌بینی مدت‌زمان بین دو مرحله رشد استفاده می‌شود (Eduardo Daniel et al., 2020).

در مطالعات قبلی سعی شده است که دستورالعمل‌هایی برای مدیریت بهینه رشد با توجه به دمای پایه مراحل مختلف رشد گیاه

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۲- بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: a.h.jalali@areeo.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96805.1261>

ارائه شود. مطالعات انجام‌شده بیانگر آن است که زمان‌های بهینه برای تعیین میزان کمبود نیتروژن در گندم زمستانه را می‌توان با در نظر گرفتن درجه روز رشد پیش‌بینی کرد (Dhillon et al., 2020). علاوه بر این، گروه‌بندی ۴۶ رقم ذرت (*Zea mays* L.) در سه گروه نیاز زیاد، نیاز متوسط و نیاز کم با در نظر گرفتن درجه روز رشد میسر شده است (Dan et al., 2020). درجه روز رشد برای ارزیابی مناسب بودن یک منطقه برای تولید یک محصول خاص نیز استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، در مطالعه یک دوره آماری ۲۳ ساله در ایران درجه روز-رشد برای فصل رشد گیاه در دمای پایه ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از شاخص گرما محاسبه و نتایج نشان داد که براساس دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد، روند افزایشی درجه روز رشد از جنوب به شمال و از غرب به شرق کشور و براساس دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، درجه روز رشد جنوب به شمال کاهش و از غرب به شرق افزایش داشت (Fatemi & Dehghan, 2019). به‌طور مشابه، درجه روز رشد برای ۴۰ ایستگاه هواشناسی توزیع‌شده در سراسر یونان محاسبه شد و نتایج نشان داد که با وجود شبکه اقلیمی پراکنده، امکان ایجاد نقشه‌هایی با وضوح بالا با نتایج آماری معنی‌دار برای برنامه‌ریزی کشاورزی وجود دارد (Matzarakis et al., 2007).

در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی مناسب محصولات کشاورزی برای توسعه کشاورزی هوشمند و سازگاری سامانه‌های کشاورزی در عصر تغییرات جهانی ضروری است (Hachisuca et al., 2023). یافته‌های مطالعه‌ای در اردبیل حاکی از آن بود که دمای منطقه با دمای رشد ذرت همبستگی داشت و براساس پهنه‌بندی انجام‌شده، از کل مساحت استان، حدود ۱۶ درصد بسیار مناسب، ۲۲ درصد مناسب، ۲۷ درصد متوسط و حدود ۳۵ درصد برای کاشت ذرت نامناسب تشخیص داده شد (Ghanbari et al., 2021). از جمله استفاده‌های دیگر در پهنه‌بندی عوامل اقلیمی، تعیین میزان سازگاری کشاورزی با تغییرات اقلیمی است. با توجه به اثرات تغییر اقلیم، تنظیم مجدد فصل رشد بهینه می‌تواند به‌طور قابل توجهی کاهش تلفات عملکرد را در شرایط آب‌وهوایی آینده به همراه داشته باشد که پهنه‌بندی عوامل اقلیمی، زمینه را برای این بازتعریف فراهم می‌کند (Cui & Xie, 2022). با تغییر شرایط اقلیمی، شاخص‌های اقلیم کشاورزی که در این زمینه‌ها مسئول هستند نیز دچار تغییر می‌شوند. اولین یخبندان پاییزی، آخرین یخبندان بهاری و طول فصل رشد از جمله این شاخص‌ها هستند. محاسبه درجه روز رشد دریافتی در مناطق مختلف

با توجه به دمای پایه مورد نیاز تعیین‌کننده نحوه مدیریت این شاخص‌ها در شرایط پیش رو است (Kukul & Irmak, 2018). این نکته به‌ویژه برای محصولات بهاره و تابستانه که دوره رشد محدودی دارند و با تنش‌های گرمایی نیز مواجه هستند بیشتر حائز اهمیت است. برخلاف بسیاری از کشورها، استان‌های ایران دارای گستره جغرافیایی وسیعی هستند، به‌گونه‌ای که می‌توان با محاسبه و پهنه‌بندی درجه روز رشد و طول دوره رشد، امکان مدیریت بهتر کشت محصولات را فراهم نمود. استان اصفهان با وسعت ۱۰۵۹۳۷ کیلومترمربع و با تنوع اقلیمی گسترده، یکی از استان‌های کشاورزی ایران است. پهنه‌بندی دما با استفاده از آمارهای دمایی درازمدت می‌تواند برای مدیریت اراضی کشاورزی این استان استفاده شود. هدف از این مطالعه، پهنه‌بندی درجه روز رشد و شناسایی محدوده‌هایی از درجه روز رشد تجمعی است که با استفاده از آن می‌تواند با دقت بیشتری تناوب کشت محصولات و مدیریت تولید آن‌ها را در شهرستان‌های مختلف استان اصفهان تعیین نمود. علاوه بر این با انجام این پژوهش، امکان ورود موفق گیاهان جدید به چرخه تناوب زراعی مناطق مختلف استان فراهم می‌شود. به عبارت ساده، وقتی محدوده دمایی دریافتی برای نقاط مختلف جغرافیایی مشخص شود، می‌توان به این سؤالات پاسخ داد که ورود محصولات با طول دوره رشد متفاوت در چه مناطقی از استان اصفهان میسر است؟ با توجه به محدوده دمایی مشخص‌شده برای هر ناحیه می‌توان تعیین کرد که کشت ارقام مختلف با چه احتمالی با تنش‌های محیطی مثل سرمای آخر فصل رشد مواجه می‌گردند؟ با توجه به فنولوژی رشد آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز که هرکدام نیاز دمایی متفاوتی در طول رشد دارند، احتمال طغیان هرکدام برای نواحی مختلف استان چقدر است؟ با توجه به تغییر شرایط اقلیمی و با توجه به محدوده‌های دمایی مشخص‌شده برای هر منطقه، احتمال اثرات منفی اقلیمی ناشی از تغییرات دما برای هر ناحیه از استان چه میزان خواهد بود؟

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از آمار دمای روزانه ۳۰ ساله (حدافل، حداکثر و متوسط) ۳۳ ایستگاه هواشناسی برای محاسبه درجه روز رشد و طول فصل رشد (۱۳۶۳ تا ۱۴۰۰) استفاده شد. موقعیت مربوط به ۲۴ شهرستان استان اصفهان در شکل ۱ و نام و مختصات ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. برای محاسبه درجه روز-رشد، اولین طول

یک دوره شش روزه با حداقل دمای کمتر از پنج و کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد.

درجه روز رشد با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (Dan et al., 2020).

$$GDD = \sum n [(T_{Max} + T_{Min})/2] - T_{base} \quad (۱) \text{ معادله}$$

که در آن، T_{Max} و T_{Min} : به ترتیب دمای بیشینه و دمای کمینه و T_{base} : دمای پایه است. دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به عنوان بیشینه آستانه تحمل برای محاسبه درجه-روز-رشد برای دماهای پایه ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد لحاظ گردید.

نتایج و بحث

دامنه دوره رشد براساس دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد از ۲۴۹/۵۱ تا ۳۵۹/۳۷ روز به ترتیب در دو شهرستان (بوئین و میاندشت) و (خور و بیابانک) متغیر بود (جدول ۲). بر این اساس، کمترین (۲۹۲۵/۲۴) و بیشترین (۶۰۴۸/۵۸) مقدار درجه روز رشد به ترتیب مربوط به این دو شهرستان بوده است. تفاوت مضاعف در جذب واحد دما، ظاهر کشاورزی این دو شهر را کاملاً متفاوت کرده و نشان از تنوع آب‌وهوایی گسترده در یک استان دارد.

فصل رشد برای آستانه‌های دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از روش کدگذاری Jillosy (سوم اسفند با کد ۱ و دوم اسفند با کد ۳۶۵) استخراج شد (Frich et al., 2002). اعداد کدگذاری شده به نرم‌افزار GIS Ver.10.8 منتقل و پس از تهیه نقشه رقومی در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی برای هر شاخص در ArcGIS Pro 3.6 ترسیم شد.

با وجود تعاریف مختلف از دوره رشد، دما و رطوبت در تمامی این تعاریف نقش ویژه‌ای دارند. طبق تعریف کمیسیون اقلیم‌شناسی/تغییرپذیری آب‌وهوای سازمان جهانی هواشناسی، طول دوره رشد، فاصله زمانی بین اولین دوره پس از ۱۰ تیرماه است که در آن حداقل برای شش روز متوالی میانگین دمای روزانه بالای پنج درجه سانتی‌گراد باشد (به عنوان نقطه شروع) و اولین دوره شش روزه با میانگین دمای روزانه کمتر از پنج درجه سانتی‌گراد (به عنوان نقطه خاتمه) است (Fatemi & Dehghan, 2019). در مطالعه حاضر، شروع فصل رشد برای گونه‌های سازگار با دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد (گیاهان سرمادوست) و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (گیاهان گرمادوست)، به ترتیب یک دوره شش روزه با حداقل دمای روزانه برابر یا بیشتر از پنج و برابر و بیشتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. پایان فصل رشد برای گیاهان سرمادوست و گرمادوست به ترتیب



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های مختلف استان اصفهان
Fig. 1- Geographical location of different cities in Isfahan province

جدول ۱- ایستگاه‌های شبکه هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه
Table1- Stations of the meteorological network used in this study

ایستگاه Station	عرض جغرافیایی Latitude (°N)	طول جغرافیایی Longitude (°E)	ارتفاع Elevation (m)	ایستگاه Station	عرض جغرافیایی Latitude (°N)	طول جغرافیایی Longitude (°E)	ارتفاع Elevation (m)
خور و بیابانک Khur and Biabanak	845.00	55.08	33.76	قم Ghom	879.10	50.88	34.63
نائین Naeen	1549.00	53.09	32.86	اصفهان Esfahan	1550.40	51.65	32.61
اردستان Ardestan	1252.40	52.38	33.39	کیوتر آباد Kabootar Abad	1545.00	51.51	32.31
کاشان Kashan	982.30	51.45	33.96	شهرضا Shahreza	1845.20	51.81	31.98
نطنز Natanz	1684.90	51.89	33.52	سمیرم Semirom	2274.00	51.57	31.33
داران Daran	2290.00	50.37	32.96	قمصر Gamsar	899.90	52.36	35.24
نجف آباد Najaf Abad	1649.00	51.38	32.60	شاهین شهر و میمه Shahin Shahr and Meymeh	1980.00	51.14	33.41
گلپایگان Golpayegan	1870.00	50.28	33.48	ورزنه Varzaneh	1250.00	51.62	32.40
خوانسار Khansar	2300.00	50.32	33.23	ياسوج Yasooj	1816.30	51.55	30.69
دهاقان Dehaghan	1960.00	50.97	33.08	یزد Yazd	1230.20	54.28	31.90
ربات Robat	1188.00	55.55	33.01	آبادیه Abadeh	2030.00	52.61	31.19
فریدون شهر Fereyduh Shahr	2490.00	50.03	32.93	اراک Arak	2054.00	50.95	32.83
چادگان Chadegan	2150.00	50.65	33.62	الیگودرز Aligoodarz	2022.10	49.70	33.40
سمنان Semnan	1127.00	53.42	35.58	ایزه Ezeh	1702.80	49.78	34.07
شرق اصفهان Esfahan-East	1543.00	51.87	32.66	بروجن Borujen	2260.00	51.29	31.97
شهرکرد Shahrekord	2048.90	50.83	32.29	چوپانان Chupanan	912.00	54.38	33.62
مبارکه Mobarakeh	1690.00	51.45	32.35	-	-	-	-

شهرستان‌ها، طول دوره رشد و واحد دمای جذب‌شده بین این دو شهر قرار دارد. حضور محصولات زراعی در یک منطقه و عملکرد مورد انتظار به‌میزان جذب دما در آن منطقه بستگی دارد (Dan et al., 2020). با توجه به مقادیر درجه روز رشد، امکان مدیریت زمان برداشت (Eduardo Daniel et al., 2020) استفاده از کودهای شیمیایی (De Notaris et al., 2018)، مهار علف‌های هرز (Otto et al., 2007) و مهار آفات گیاهی (Crimmins et al., 2020) وجود

در شهرستان بوئین و میاندشت، انواع محصولات سردسیری مانند اسپرس (*Onobrychis sativa* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.)، عدس (*Lens esculinaris* L.) و درختانی مانند سیب (*Malus domestica* L.) کشت می‌شود، درحالی‌که در شهرستان خور و بیابانک، محصولات گرمادوست مانند گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) و درختانی مانند خرما (*Phoenix dactylifera* L.) قابل مشاهده است. در سایر

دارد.

گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی (*Solanum Lycopersicum* L.)، فلفل (*Capsicum annuum* L.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و خربزه (*Cucumis melo* L.) گیاهانی گرمادوست هستند (دمای پایه ≤ 10 درجه سانتی‌گراد). طول دوره رشد و میانگین درجه روز رشد مورد نیاز در شهرهای مختلف استان اصفهان با دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد در **جدول ۲** ارائه شده است. براساس دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، کمترین و بیشترین طول دوره رشد به‌ترتیب در فریدون‌شهر (۱۸۲/۶۱ روز) و خور و بیابانک (۲۸۹/۵۷ روز) مشاهده شده است. درجه روز رشد در این دو شهر به‌ترتیب ۱۶۱۲/۱۹ و ۴۴۱۷/۱۱ بود. اگر بخواهیم مثالی کاربردی در استفاده از این اعداد ارائه دهیم، می‌توان گفت که با توجه به میانگین درجه روز رشد به‌دست‌آمده، کشت دیررس ارقام ذرت در چادگان، بوئین و میان دشت، فریدن، فریدون‌شهر و سمیرم امکان‌پذیر نیست و در سایر موارد؛ به عبارت دیگر، این گیاه نمی‌تواند چرخه زندگی خود را در این شهرها کامل کند. نتیجه یک پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه دمای هوا برای دمای پایه ۵، ۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای دوره ۱۹۵۱-۲۰۱۰ در شهرستان نشان داد که فراوانی و شدت یخبندان بهاره، به‌ویژه در طول گل‌دهی یا حتی در طول رسیدن گیاهان، همچنان تهدیدی برای برداشت محصولات در هر دو بخش شرقی و غربی کشور است (Wypych et al., 2017). خلاصه داده‌های درجه روز رشد براساس دماهای پایه ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد در **جدول ۳** ارائه شده است. براساس دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد، شهرهای استان اصفهان در چهار گروه ($GDD = 2500$) تا $GDD > 5000$) قرار دارند و براساس دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد در سه گروه ($GDD = 4500-1500$) قرار می‌گیرند. این گروه‌بندی به کاربران کمک می‌کند تا با توجه به موقعیت، تصمیمات مدیریتی مناسب بگیرند. براساس این گروه‌بندی در شهرستان‌هایی مثل بوئین و میان دشت، فریدن، سمیرم، خوانسار، تیران و کرون، چادگان، سمیرم و فریدون‌شهر گیاهانی که دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد دارند، فقط زمانی می‌توانند کشت شوند که نیاز دوره رشدی آن‌ها بیش از ۳۵۰۰ درجه روز رشد نباشد. برای گیاهان با دمای پایه پنج

درجه سانتی‌گراد و نیاز دمایی ۳۵۰۰-۲۵۰۰ درجه روز رشد، شهرستان‌هایی مثل دهقان، شاهین‌شهر و میمه، شهرضا، نجف‌آباد، گلپایگان، برخوار، خمینی‌شهر، لنجان، مبارکه، نطنز و کاشان مناسب هستند. شهرستان‌های دهقان، شاهین‌شهر و میمه، شهرضا، نجف‌آباد، گلپایگان، برخوار، خمینی‌شهر لنجان، مبارکه، نطنز و کاشان می‌توانند پذیرای گیاهانی با دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد در محدوده ۴۵۰۰-۳۵۰۰ درجه روز رشد باشند. گیاهان با نیاز دمایی بیش از ۵۰۰۰ درجه روز رشد و دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد فقط در دو شهرستان خور و بیابانک و آران و بیدگل قابلیت کشت دارند. گیاهانی که دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد و در چرخه زندگی خود نیاز دمایی بیش از ۴۵۰۰ درجه روز رشد دارند، در هیچ یک از شهرستان‌های استان اصفهان قابلیت کشت ندارند. اعداد **جدول ۳** برای بررسی دوره بحرانی مهار علف‌های هرز، آفات و کشت گیاهان دارویی قابل استفاده است. با استفاده از همین روش و استفاده از داده‌های درجه روز رشد، مناطق مختلف لهستان به سه بخش گروه‌بندی شد و راهنمای مدیریت سرماهای بهاره باغ‌های بادام ارائه گردید (Wypych et al., 2017). در مطالعه دیگری در ایالات‌متحده، با توجه به مراحل مختلف فنولوژی آفات غالب، جدول راهنمای درجه روز رشد ارائه شد. اعتبارسنجی اولیه براساس مشاهدات برای مراحل تخم و پوره برخی از آفات نشان داد که جداول و نقشه‌های راهنمای درجه روز رشد ۹۳ درصد یا بیشتر دقت داشتند. از زمان انتشار این نقشه‌ها توسط متخصصان مراقبت از درختان و جنگلبانان در سراسر ایالات‌متحده پذیرفته شده‌اند (Crimmins et al., 2020). در **شکل ۲**، پهنه‌بندی درجه روز رشد برای طول فصل رشد در دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد (a) و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (b) در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

روند تغییرات درجه روز رشد بیانگر آن است که بیشترین واحد دما در شمال و شمال شرق و کمترین آن مربوط به غرب و جنوب استان بود. تهیه نقشه‌های درجه روز رشد می‌تواند به کشاورزان در تصمیم‌گیری بلندمدت در مورد انتخاب ارقام محصول مطلوب کمک کند.

جدول ۲- ویژگی‌های طول فصل رشد و درجه روز رشد در دمای پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد طی سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۰
 Table 2- Characteristics of the growing season length and growth degree day at 5 °C and 10 °C during the period 2022 to 2015

ایستگاه Station	5 °C			10 °C		
	درجه روز رشد (میانگین) Growth degree days (Means)	طول دوره رشد (روز) Growing season length (day)	ضریب تغییرات (درصد) Coefficients of variance (Percent)	درجه روز رشد (میانگین) Growth degree days (Means)	طول دوره رشد (روز) Growing season length (day)	ضریب تغییرات (درصد) Coefficients of variance (Percent)
آران و بیدگل Aran and Bidgol	6030.44	359.04	11.14	4401.53	289.13	10.94
اردستان Ardestan	5231.70	334.65	10.10	3730.44	269.00	11.14
اصفهان Esfahan	4516.56	308.95	8.44	3132.21	252.78	9.74
برخور Borkhar	4371.38	301.13	9.17	3008.00	247.95	10.57
بوئین و میان دشت Buein and Mian Dasht	2925.24	249.51	6.89	1811.32	193.84	7.70
تیران و کرون Tiran and Karvan	3454.78	268.68	9.86	2241.90	216.76	10.09
خمینی شهر Khomeini Shahr	4460.18	301.15	10.16	3082.16	246.62	11.32
خوانسار Khansar	3178.06	258.30	8.17	2015.61	205.08	9.37
خور و بیابانک Khur and Biabank	6048.58	359.37	12.19	4417.11	289.57	11.00
دهاقان Dehaghan	3529.21	272.07	8.54	2303.52	220.23	9.23
سمیرم Semirom	2917.22	248.92	6.90	1810.22	194.06	7.58
شاهین شهر و میمه Shahin shahr va Meimeh	3786.27	280.47	11.00	2518.04	228.03	10.24
شهرضا Shahreza	3608.13	274.24	8.87	2374.48	220.33	9.97
فریدن Fereidan	3020.33	254.03	6.89	1887.19	199.86	7.29
فریدون شهر Feridun Shahr	2657.35	236.84	7.84	1612.19	182.61	8.14
فلاورجان Falavarjan	4525.20	304.23	10.10	3137.01	244.65	9.19
کاشان Kashan	4381.62	304.18	12.09	3022.45	242.95	11.56
لنجان Lenjan	4005.60	290.23	10.94	2701.09	237.02	11.21
مبارکه Mobarake	4141.90	294.66	9.84	2815.53	238.65	10.34
نائین Naein	5703.00	349.33	13.44	4126.81	281.11	11.78
نجف آباد Najafabad	3801.30	281.24	7.54	2528.09	229.12	8.16
نطنز Natanz	4352.06	303.36	11.29	2999.28	243.42	12.19
چادگان Chadegan	3192.99	259.02	7.74	2027.96	206.38	8.64
کلیایگان Golpayegan	3778.77	281.48	9.09	2510.48	228.97	10.12

گسترده‌ای در فضا متفاوت هستند، پهنه‌بندی یکی از ابزارهای مفید برای شناسایی قابلیت‌های زمین جهت تخصیص به بهترین و سودآورترین انواع بهره‌وری است. این نوع پهنه‌بندی می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های کلان در یک کشور یا یک استان کمک کند. به عنوان مثال، پهنه‌بندی اراضی کشاورزی ایران براساس دما، بارش، توپوگرافی و خاک نشان داد که مناطق بهینه برای کشت نخود دیم و نخود آبی به ترتیب تنها ۴/۱۵ و ۸/۴۴ درصد از اراضی بودند (Nabati et al., 2020).

هیچ ضریب همبستگی معنی‌داری بین درجه روز رشد و عرض جغرافیایی در دماهای ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد و تأثیری بر درجه روز رشد نداشت (شکل ۴ a, b). ضریب همبستگی بین درجه روز رشد در دماهای پایه ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد و طول جغرافیایی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود (شکل ۴ c, d). رابطه بین درجه روز رشد در طول فصل رشد و طول جغرافیایی در ۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ درجه سانتی‌گراد از غرب به شرق افزایشی بود. به طور مشابه، برای ایران، رابطه بین درجه روز رشد جذب‌شده و عرض جغرافیایی برای دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد معنی‌دار نبود، اما این رابطه برای طول جغرافیایی از غرب به شرق برای هر دو دمای پایه ۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار و افزایشی بود (Fatemi & Dehghan, 2019).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در استان اصفهان با حرکت از غرب به شرق، طول دوره رشد و درجه روز رشد جذب‌شده افزایش می‌یابد. حرکت از شمال به جنوب استان یک رابطه معکوس بود. براساس دمای پایه ۵ پنج سانتی‌گراد، کوتاه‌ترین طول دوره رشد معادل ۲۰۰-۱۱۴ روز در مناطق غرب و جنوب استان و بلندترین طول دوره رشد معادل ۳۶۵-۳۳۱ روز در مناطق شمال و شرق استان اصفهان دیده می‌شوند. برای دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد روند جغرافیایی مشابهی مشاهده می‌شود، با این تفاوت که دامنه کوتاه‌ترین و بلندترین طول دوره فصل رشد به ترتیب برابر ۷۲-۱۴۰ و ۳۰۶-۲۶۱ روز می‌باشد. با توجه به دمای پایه ۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ درجه سانتی‌گراد، شهرهای استان اصفهان در محدوده ۱۵۰۰ تا بیش از ۵۰۰۰ درجه روز رشد طبقه‌بندی می‌شوند. این طبقه‌بندی به ما کمک می‌کند تا ارقام مناسب هر

پهنه‌بندی درجه روز رشد برای یک منطقه کمک می‌کند تا فنولوژی رشد ارقام مختلف هر گیاه با منطقه مورد نظر تطابق داده شود. به عنوان مثال، در یک پژوهش براساس پهنه‌بندی درجه روز رشد، ۱۱ رقم انگور به دسته‌های زودرس، میان‌رس و دیررس طبقه‌بندی شدند. رسیدن میوه برای گروه‌های زودرس ۹-۷ روز، برای گروه‌های میان‌رس ۸-۴ روز و برای گروه‌های دیررس ۳-۱ روز متفاوت بود. در این پژوهش برای ارقام زودرس، میان‌رس و دیررس، دامنه تجمعی درجه روز رشد به ترتیب برابر ۱۵۳۰-۱۳۰۳، ۱۷۱۲-۱۶۱۷ و ۱۹۵۹-۱۹۱۲ درجه روز رشد بود (Gupta et al., 2020).

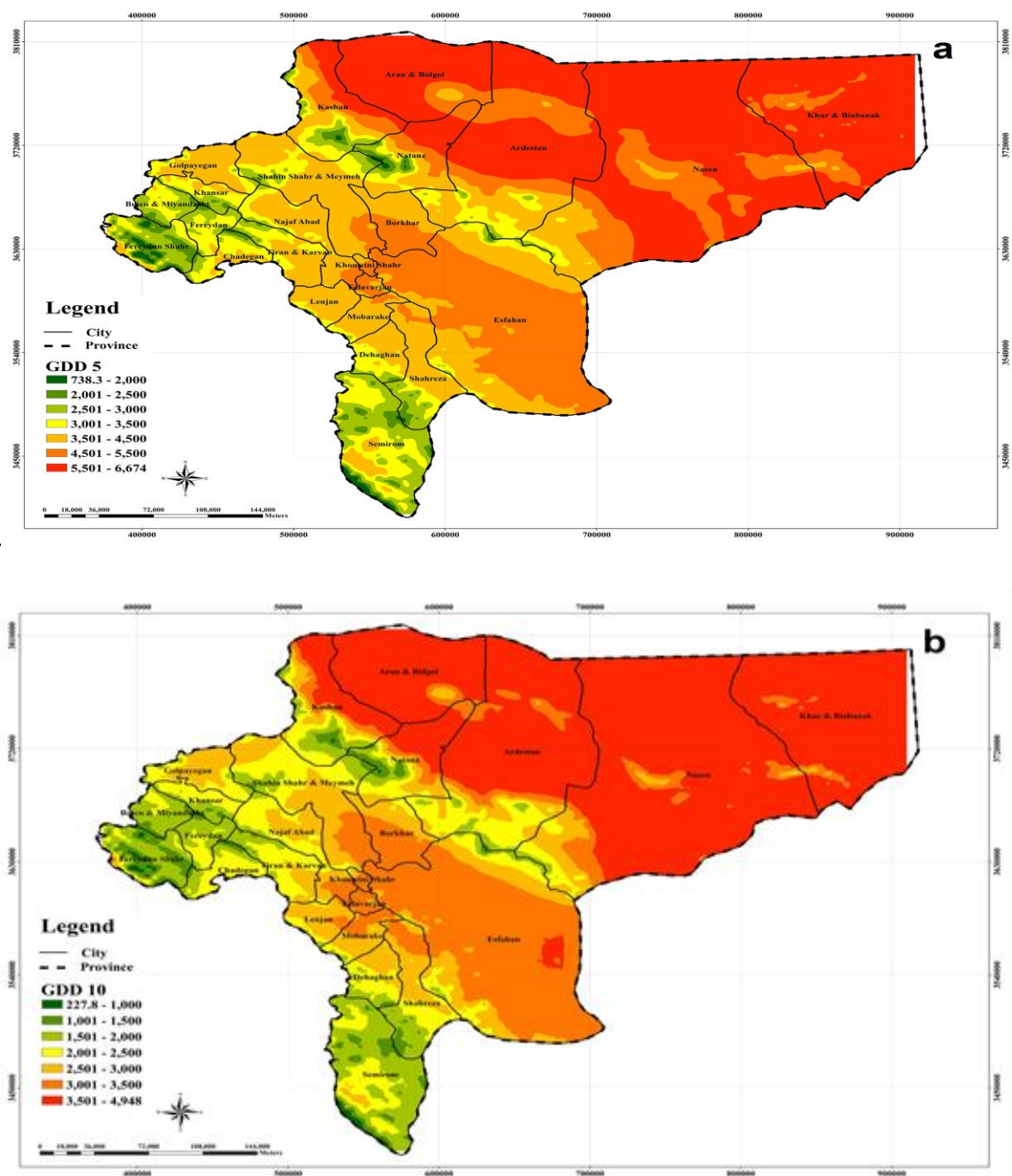
پهنه‌بندی طول فصل رشد در دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد (a) و ۱۰ درجه سانتی‌گراد (b) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس دمای پایه پنج درجه سانتی‌گراد، کوتاه‌ترین طول دوره رشد معادل ۲۰۰-۱۱۴ روز در مناطق غرب و جنوب استان و بلندترین طول دوره رشد معادل ۳۶۵-۳۳۱ روز در مناطق شمال و شرق استان اصفهان دیده می‌شوند. برای دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، روند جغرافیایی مشابهی مشاهده می‌شود، با این تفاوت که دامنه کوتاه‌ترین و بلندترین طول دوره فصل رشد به ترتیب برابر ۷۲-۱۴۰ و ۳۰۶-۲۶۱ روز می‌باشد. طول فصل رشد از شمال و شمال شرق به جنوب استان برای هر دو دمای پایه کاهش می‌یابد. شهرستان‌های آران و بیدگل، کاشان، اردستان، نایین، خور و بیابانک در شمال و شمال شرق بیشترین دوره رشد را دارند، اما مناطق خشک و کم بارش استان اصفهان را شامل می‌شوند. شهرهای نواحی غربی (بوئین و میان دشت، چادگان، فریدون‌شهر و فریدن) در مجاورت رشته‌کوه‌های زاگرس با ارتفاع زیاد و دمای پایین واقع شده‌اند و طبیعتاً در این وضعیت، طول دوره رشد در آن‌ها کوتاه می‌شود. اساساً طول دوره رشد (فصل رشد) می‌تواند جنبه‌های مختلفی داشته باشد که هر کدام معنای متمایزی دارند، مثلاً در یک تعریف، فصل رشد عبارت است از دوره زمانی که طی آن، یک گیاه یا بخشی از آن در واقع رشد می‌کند و بافت جدید تولید می‌کند، در تعریف دیگر، فصل رشد دوره‌ای است که توسط نشانگرهای رشدی یعنی نشانگرهای فنولوژیکی تعریف می‌شود و یا دوره‌ای که طی آن گیاهان می‌توانند به طور بالقوه براساس معیارهای هواشناسی رشد کنند. تعریف اخیر نسبت به سایر تعاریف دقیق‌تر بوده و مبنای پهنه‌بندی دمای قرار می‌گیرد (Körner et al., 2023). از آنجایی که عناصر آب‌وهوایی به‌طور

منطقه را با دقت کافی شناسایی کنیم. علاوه‌بر این با توجه به اطلاعات اولیه واحد دمایی مورد نیاز برای رشد علف‌های هرز و آفات و به کمک این طبقه‌بندی می‌توان زمان بروز علف‌های هرز و آفات را در مناطق مختلف پیش‌بینی کرد. مطمئناً با تلفیق پهنه‌بندی دمایی با سایر عناصر مورد نیاز هر گیاه (خاک، توپوگرافی و بارش)، اطلاعات جامع‌تری به دست خواهد آمد.

جدول ۳- طبقه‌بندی درجه روز رشد و طول فصل رشد در دماهای پایه ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای شهرستان‌های استان اصفهان

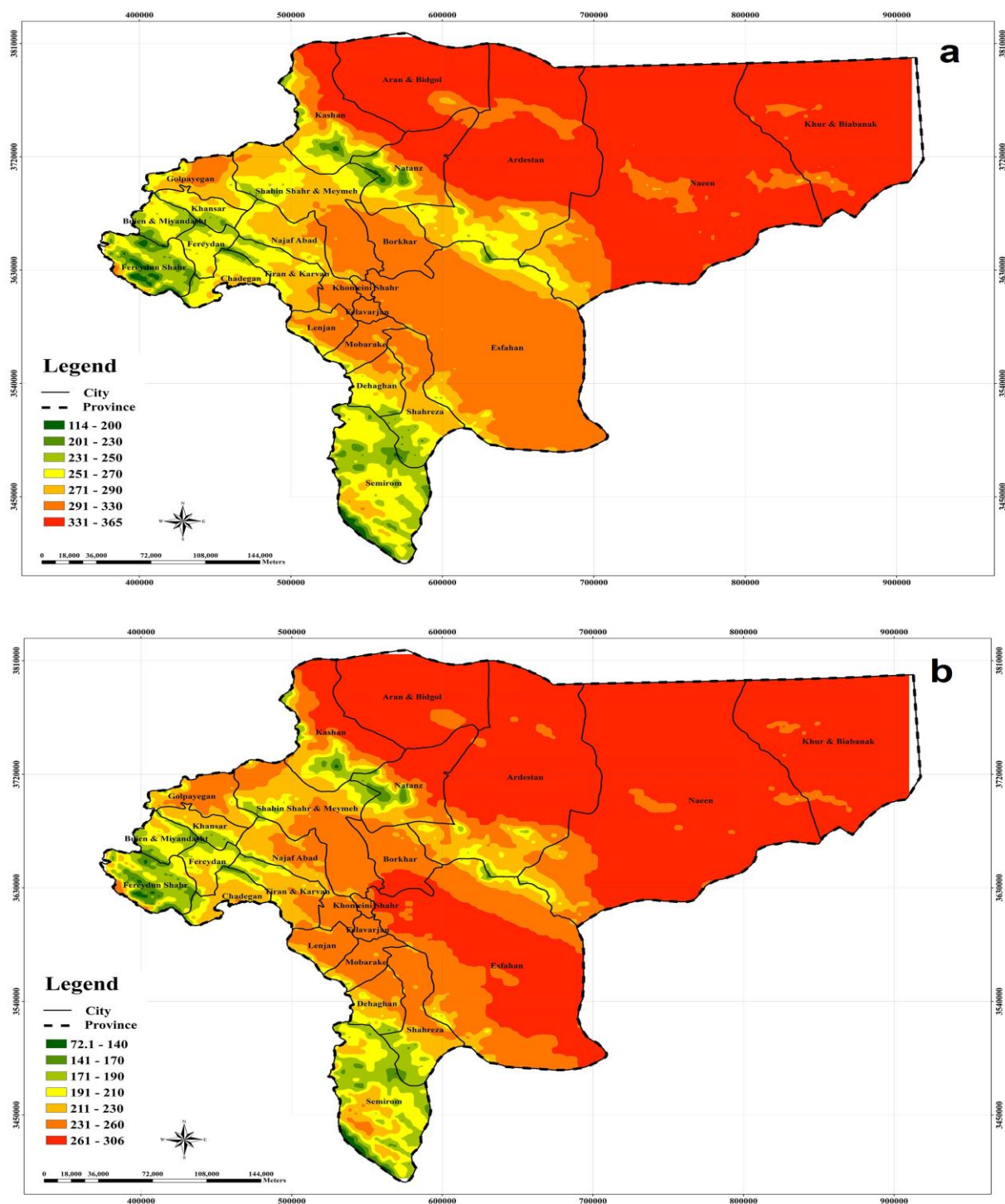
Table 3- Classification of GDD of the growing season length at base temperatures of 5 and 10 °C for the cities of Isfahan province

درجه روز رشد GDD	دمای پایه Base temperature (°C)	
	5	10
1500- 2500	-----	بویین و میان دشت، تیران و کرون، خوانسار، دهاقان، سمیرم، شهرضا، فریدن، فریدون شهر، چادگان Buein and Mian Dasht, Tiran and Karvan, Khansar, Dehaghan, Semirom, Shahreza, Fereidan, Feridun Shahr, Chadegan
2500- 3500	بویین و میان دشت، تیران و کرون، سمیرم، فریدن، فریدون شهر، چادگان، خوانسار Buein and Mian Dasht, Tiran and Karvan, Semirom, Fereidan, Feridun Shahr, Chadegan, Khansar	اصفهان، برخوار، خمینی شهر، شاهین شهر و میمه، فلاورجان، کاشان، لنجان، مبارکه، نجف آباد، نطنز، گلپایگان Esfahan, Borkhar, Khomeini Shahr, Shahin shahr and Meimeh, Falavarjan, Kashan, Lenjan, Mobarake, Najafabad, Natanz, Golpayegan
3500- 4500	دهاقان، شاهین شهر و میمه، شهرضا، نجف آباد، گلپایگان، برخوار، خمینی شهر، لنجان، مبارکه، نطنز، کاشان Dehaghan, Shahin shahr and Meimeh, Shahreza, Najafabad, Golpayegan, Borkhar, Khomeini Shahr, Lenjan, Mobarake, Natanz, Kashan	آران و بیدگل، اردستان، خور و بیابانک، ناین Aran and Bidgol, Ardestan, Khur and Biabank, Naein
4500- 5500	اردستان و اصفهان Ardestan, Esfahan	-----
>5000	آران و بیدگل، خور و بیابانک، ناین Aran and Bidgol, Khur and Biabank, Naein	-----



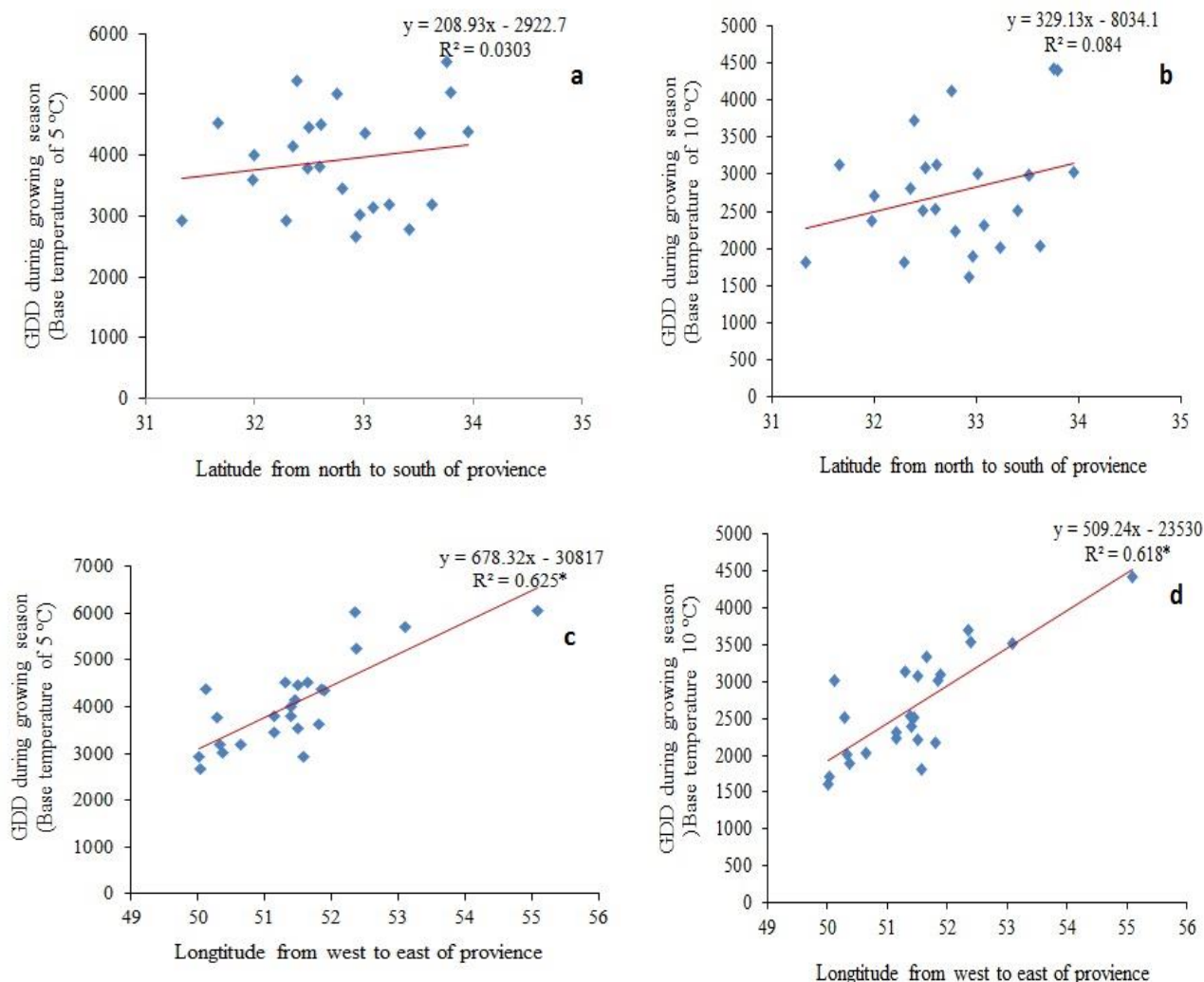
شکل ۲- پهنه‌بندی ایستگاه‌های منتخب در استان اصفهان براساس درجه روز رشد، دمای پایه ۵ درجه سانتی‌گراد (a) و دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد (b)

Fig. 2- Zoning map of selected stations in Isfahan province based on a growth degree day, base temperature of 5 °C (a), and base temperature of 10 °C (b)



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی ایستگاه‌های منتخب در استان اصفهان براساس فصل رشد، دمای پایه ۵ درجه سانتی‌گراد (a) و دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد (b)

Fig. 3- Zoning map of selected stations in Isfahan province based on a growing season, base temperature of 5 °C (a), and base temperature of 10 °C (b)



شکل ۴- رابطه بین درجه روز رشد و عرض جغرافیایی در (a) ۵ درجه سانتی‌گراد و (b) ۱۰ درجه سانتی‌گراد و بین درجه روز رشد و طول جغرافیایی در ۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 4- Relationship between GDD and latitude at (a) 5 °C and (b) 10 °C, and between GDD and longitude at (c) 5 °C and (d) 10 °C

* همبستگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.

* Correlation is significant at the 5 percent probability level.

اعتبار لازم جهت این پژوهش سپاسگزاری نمایند

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان برای همکاری و تأمین

References

1. Crimmins, T. M., Gerst, K. L., Huerta, D. G., Marsh, R. L., Posthumus, E. E., Rosemartin, A. H., Switzer, J., Weltzin, J. F., Coop, L., Dietschler, N., & Herms, D. A. (2020). Short-term forecasts of insect phenology inform pest management. *Annals of the Entomological Society of America*, 113, 139-148. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz026>
2. Cui, X., & Xie, W. (2022). Adapting agriculture to climate change through growing season adjustments: Evidence

- from corn in China. *American Journal of Agricultural Economics*, 104(1), 249-272. <https://doi.org/10.1111/ajae.12227>
3. Dan, W. A. N. G., Li, G. R., Zhou, B. Y., Ming, Z. H. A. N., Cao, C. G., Meng, Q. F., Fei, X. I. A., Wei, M. A., & Ming, Z. H. A. O. (2020). Innovation of the double-maize cropping system based on cultivar growing degree days for adapting to changing weather conditions in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*, 19, 2997-3012. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63213-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63213-0)
4. De Notaris, C., Rasmussen, J., Sørensen, P., & Olesen, J. E. (2018). Nitrogen leaching: A crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 255, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.009>
5. Dhillon, J. S., Figueiredo, B. M., Eickhoff, E. M., & Raun, W. R. (2020). Applied use of growing degree days to refine optimum times for nitrogen stress sensing in winter wheat. *Agronomy Journal*, 112, 537-549. <https://doi.org/10.1002/agj2.20007>
6. Eduardo Daniel, B. A., Huyghe, C., & Javier Francisco, E. Q. (2020). Flowering dynamics in alfalfa (*Medicago sativa* L.) based on heat units. *AGRO Productividad*, 13(12). <https://doi.org/10.1265342/s005632-45-06765>
7. Fatemi, M., & Dehghan, H. (2019). Growing degree days zonation of plants in Iran according to thermal characteristics. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 877-886. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02868-y>
8. Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G., & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193-212. <https://doi.org/10.3354/cr019193>
9. Ghanbari, R., Sobhani, B., Aghaee, M., Oshnooei Nooshabadi, A., & Safarianzengir, V. (2021). Monitoring and evaluation of effective climate parameters on the cultivation and zoning of corn agricultural crop in Iran (case study: Ardabil province). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(5), 387. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06807-y>
10. Gupta, N., Pal, R. K., Kour, A., & Mishra, S. K. (2020). Thermal unit requirement of grape (*Vitis vinifera* L.) varieties under south western Punjab conditions. *Journal of Agrometeorology*, 22, 469-476. <https://doi.org/10.54386/jam.v22i4.456>
11. Hachisuca, A. M. M., Abdala, M. C., & de Souza, H. (2023). Growing degree-hours and degree-days in two management zones for each phenological stage of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Biometeorology*, 67, 1169-1183. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02486-4>
12. Körner, C., Möhl, P., & Hiltbrunner, E. (2023). Four ways to define the growing season. *Ecology Letters*, 26(8), 1277-1292. <https://doi.org/10.1111/ele.14260>
13. Kukal, M. S., & Irmak, S. (2018) US agro-climate in 20th century: Growing degree days, first and last frost, growing season length, and impacts on crop yields. *Scientific Reports*, 8(1), 6977. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25212-2>
14. Matzarakis, A., Ivanova, D., Balafoutis, C., & Makrogiannis, T. (2007). Climatology of growing degree days in Greece. *Climate Research*, 34, 233-240. <https://doi.org/10.3354/cr00690>
15. Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2020). GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inference system in semi-arid regions. *Ecological Indicators*, 117, 106646. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106646>
16. Otto, S., Masin, R., Chiste, G., & Zanin, G. (2007). Modelling the correlation between plant phenology and weed emergence for improving weed control. *Weed Research*, 47, 488-498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2007.00594.x>
17. Parthasarathi, T., Velu, G., & Jeyakumar, P. (2013). Impact of crop heat units on growth and developmental physiology of future crop production: A review. *Research & Reviews: A Journal of Crop Science and Technology*, 2(1), 1-11.
18. Wypych, A., Sulikowska, A., Ustrnul, Z., & Czekierda, D. (2017). Variability of growing degree days in Poland in response to ongoing climate changes in Europe. *International Journal of Biometeorology*, 61, 49-59. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1190-3>
19. Zhang, H., Liu, S., Regnier, P., & Yuan, W. (2018). New insights on plant phenological response to temperature revealed from long-term widespread observations in China. *Global Change Biology*, 24, 2066-2078. <https://doi.org/10.1111/gcb.14002>