

برآورد آستانه‌های فنولوژیکی کشت زعفران در استان اصفهان براساس آمار درجه حرارت روزانه

غلامعباس فلاح قله‌ری^۱، حمزه احمدی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۹ مهر ۱۳۹۳

تاریخ پذیرش: ۶ اسفند ۱۳۹۳

چکیده

در این تحقیق آمار درجه حرارت روزانه ایستگاه‌های هواشناسی، برای برآورد تاریخ احتمال وقوع اولین و آخرین دمای یخبندان، آستانه‌های فنولوژی زعفران، تاریخ گلدهی و آبیاری ارزیابی شد. در ادامه احتمال تاریخ‌های به دست آمده با روش‌های مختلف در سطوح احتمال مختلف براساس نرم‌افزار Smada برآزش داده شد. برآورد سطح احتمال ۹۵ درصد، به عنوان تاریخ بهینه در محیط نرم‌افزار ArcGIS۹/۳ با استفاده از روش درون‌یابی کوکریجینگ برای کل استان اصفهان بهینه‌بندی گردید. زمان رخداد دماهای کمینه متأثر از شرایط جغرافیایی و ارتفاعی هر منطقه می‌باشد، به طوری که اولین رخداد دمای یخبندان پاییزه در مناطق مرتفع نیمه غربی استان اصفهان در اوایل آبان‌ماه و در مناطق کم ارتفاع نیمه شرقی در اواخر آذرماه رخ می‌دهد. رخداد دمای شبانه‌روزی، از نیمه اول مهرماه تا نیمه دوم آبان‌ماه متغیر است. از غرب به شرق استان اصفهان زمان رخداد این آستانه تا یک ماه تأخیر دارد. تاریخ بهینه گلدهی زعفران بر اساس شرایط اقلیمی از نیمه اول مهر تا اواخر آبان‌ماه متغیر است. با در نظر گرفتن تاریخ گلدهی و نیاز درجه روز زعفران، زمان آبیاری قبل از گلدهی از نیمه دوم شهریور ماه در نیمه - غربی تا اوایل آبان‌ماه در مناطق شرقی ادامه خواهد داشت. از نظر شرایط دمایی مناطق غرب، مرکز، شمال و شرق استان اصفهان برای توسعه محصول زعفران مناسب‌تر به نظر می‌رسد. بیشترین میزان نیاز آبی براساس تبخیر و تعرق منطقه مورد مطالعه و ضریب گیاهی زعفران، در مراحل میانی، انتهایی و اولیه رخ می‌دهد.

کلمات کلیدی: درجه روزهای رشد، دمای کمینه، زعفران، شرایط اقلیمی، نیاز آبی.

مقدمه

برای هر منطقه می‌توان پتانسیل‌ها و محدودیت‌های جوی محصولات مختلف را شناسایی و سپس مناسب‌ترین تقویم کشت را برای آن‌ها مشخص نمود (Ahmadi & Shaemi, 2012). آگاهی از زمان مناسب کاشت، داشت و برداشت محصولات زراعی مناطق مختلف و شناخت شاخص‌های اقلیمی، این امکان را برای برنامه ریزان فراهم می‌سازد تا بتوانند در مورد تخصیص منابع به محصولات مختلف تصمیم بگیرند (Alavizadeh et al., 2013). رشد و نمو

گیاهان علاوه بر اتکاء به نیازهای غذایی و شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک تابع شرایط محیطی هستند (Nasohy, 2007). صرف‌نظر از اینکه تا چه اندازه ممکن است شرایط گیاه از نظر نور یا رطوبت مناسب باشد، اگر دمای هوا از آستانه معینی کمتر یا بیشتر شود نمو آن متوقف می‌شود. مابین دو حد یک دمای مطلوب وجود دارد که در آن گیاه سریع‌ترین رشد و نمو خود را دارد (Alizadeh & Kochehi, 1978). دمای یکی از مهم‌ترین عناصر آب و هوایی در کشاورزی است که در همه ابعاد تولیدات زراعی نقش تعیین کننده‌ای دارد. برای رشد هر بذر و یا گیاه دماهای بحرانی و بهینه‌ای وجود دارد (Sharifan & Hezarjaribi, 2011). زعفران با نام علمی (*Crocus sativas*) گیاهی علفی، چند ساله و متعلق به خانواده زنبقیان (*Iridaceae*)

۱ - استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه حکیم سبزواری.

۲ - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، دانشگاه حکیم سبزواری.

*- نویسنده مسئول: hamzehahmadi2009@gmail.com

درجه حرارت‌های کمینه، میانگین و بیشینه در خراسان جنوبی به منظور شناسایی مناطق مستعد کشت زعفران با استفاده از GIS مشخص نموده‌اند که دمای حداقل در ماه‌های مهر، آبان، آذر و دی نسبت به دیگر ماه‌های سال بر عملکرد زعفران تأثیر بیشتری دارند، همچنین مناطق شمال و شمال شرقی استان از نظر دمایی مطلوبیت بهتری برای کشت زعفران را دارا می‌باشند. علوی‌زاده و همکاران (Alavizadeh et al., 2013) در امکان سنجی نواحی مستعد کشت زعفران در دشت کاشمر با استفاده از GIS مشخص نموده‌اند که، شرایط دمایی بیشترین مجموع وزن را به خود اختصاص داده و تأثیر گذارترین عامل در تعیین مناطق مستعد زعفران محسوب می‌شود.

با توجه به نقش ایران در صادرات این محصول ارزشمند و ارزآور، بررسی پتانسیل‌های دیگر مناطق کشور برای کشت آن زمینه ساز توسعه اقتصادی بالاتر برای کشور خواهد بود. با توجه به اهمیت کشت زعفران در کشور، هدف عمده این تحقیق برآورد آستانه‌های فنولوژیکی کشت زعفران در استان اصفهان است، تا از این طریق افزایش و توسعه سطح زیر کشت این محصول ارزشمند در دیگر نقاط فراهم گردد.

مواد و روش‌ها

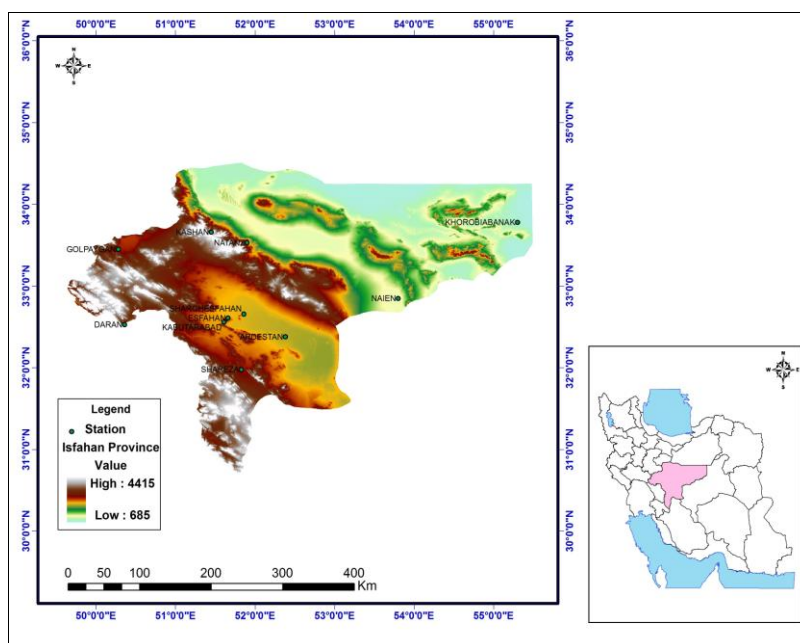
استان اصفهان به عنوان یکی از استان‌های مرکزی کشور از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی 40° تا 30° و عرض‌های 32° تا 34° شمالی قرار دارد. این استان مساحتی حدود 107145 کیلومترمربع معادل $6/3$ درصد کل مساحت ایران را در بر می‌گیرد، شکل ۱، موقعیت جغرافیایی و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در استان اصفهان را نشان می‌دهد.

در این تحقیق از داده‌های اقلیمی دمای کمینه و بیشینه یازده ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه در مقیاس زمانی روزانه استفاده به عمل آمده است، جدول ۱، مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی را نشان می‌دهد.

روش بررسی: آمار دمای کمینه و بیشینه ایستگاه‌های هواشناسی در مقیاس روزانه برای دوره آماری ۲۰ ساله، از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ از سازمان هواشناسی کشور تهیه و سپس در محیط نرم‌افزار Excel مجموعه داده‌ها برای محاسبات و انجام تحلیل‌ها تنظیم شد.

است. مراحل رشد و نمو گیاه زعفران متأثر از عوامل محیطی و فیزیولوژی پیاز است که در میان عوامل محیطی، نقش درجه حرارت و دامنه حرارتی در طول دوره رشد و نمو گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Amirshakari, 2011). آب و هوای معتدل مناسب-ترین شرایط برای کشت زعفران است، این گیاه در پاییز شروع به رشد می‌کند و در فصل تابستان برای دوری از گرمای زیاد در دوره رکود قرار می‌گیرد (Negby, 2006). کشور ایران ۹۰ درصد سطح زیر کشت و ۹۳/۷ درصد تولید جهانی این محصول را در اختیار دارد (Akbarpour et al., 2013). وقوع یخبندان در زمان گلدهی می‌تواند اثر منفی بر محصول زعفران داشته باشد (Mohamadi et al., 2011). مولینا و همکاران (Molina et al., 2004) با اجرای آزمایش‌هایی در محیط‌های کنترل شده مشخص نموده‌اند که درجه حرارت در گلدهی زعفران نقش مؤثری دارد و همچنین میانگین دمای روزانه، مهم‌ترین متغیر محیطی برای توصیف رفتار گلدهی آن محسوب می‌شود. هالوی (Halevy, 1990) در مطالعه‌ای تغییرات دمای روزانه را برای گلدهی زعفران مؤثر دانسته و نشان داده که نوسان دمای روز و شب مهم‌ترین عامل تنظیم گل‌دهی این گیاه می‌باشد. کامالی (Kamali, 2007) با بررسی و مطالعه زیست‌اقلیمی زعفران در خراسان مشخص نموده که اگر آبیاری مزرعه زعفران دو هفته قبل از اینکه دما به کمتر از 15 درجه سانتی‌گراد برسد انجام شود دوران گلدهی آغاز می‌شود. جعفر بیگلر و مبارکی (Jafarbayglo & Mobaraki, 2008) در سنجش تناسب اراضی استان قزوین برای کشت زعفران با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در محیط GIS، آستانه کمینه ۵ درجه سانتی‌گراد را به عنوان یکی از معیارهای اقلیمی برای مکان‌یابی مناسب‌ترین مناطق کشت زعفران در نظر گرفته‌اند. محمدی و همکاران (Mohamadi et al., 2011) در ارزیابی پتانسیل‌های اقلیمی کشت زعفران در شهرستان مرودشت، مشخص نموده‌اند که در مرحله اولیه رشد گیاه زعفران آبیاری ضروری است. کامیابی و همکاران (Kamyabi et al., 2014) در ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی مؤثر بر کشت زعفران با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، پارامتر اقلیمی دما را یکی از مؤثرترین عناصر مؤثر در کشت زعفران مشخص نموده‌اند.

کوزه‌گران و همکاران (Kozegaran et al., 2011) با بررسی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه
Figure1- The geographical distribution of meteorological stations used in this study.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی
Table1- Meteorological stations characteristics

ایستگاه‌های هواشناسی Meteorological stations	نوع ایستگاه Station type	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه) Longitude (E)	عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه) Latitude (N)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (M)
اصفهان Isfahan	همدید Synoptic	51° 40'	32° 37'	1550
شرق اصفهان East of Isfahan	همدید Synoptic	51° 52'	32° 40'	1543
کاشان Kashan	همدید Synoptic	51° 27'	33° 59'	982
کبوترآباد Kabutarabad	اقلیم شناسی Climatology	51° 37'	32° 34'	1580
گلپایگان Golpaygan	اقلیم شناسی Climatology	50° 17'	33° 27'	1800
شهرضا Shahreza	همدید Synoptic	51° 50'	31° 59'	1845
نطنز Natanz	اقلیم شناسی Climatology	51° 54'	33° 32'	1684
اردستان Ardestan	همدید Synoptic	52° 23'	32° 23'	1252
نائین Naein	اقلیم شناسی Climatology	53° 5'	32° 51'	1549
داران Daran	همدید Synoptic	50° 22'	32° 58'	2290
خوروبیابانک Kouroubiabanak	اقلیم شناسی Climatology	55° 2'	33° 47'	850

به عقب ۴۱۶ درجه روزهای رشد و یا سه هفته برگشت به عقب روزشمار از زمان گلدهی، تاریخ مناسب برای اولین آبیاری قبل از گلدهی را مشخص نمود. در واقع با توجه به اینکه از زمان آبیاری تا گلدهی ۴۱۶ درجه روز نیاز است، با مشخص شدن زمان گلدهی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، با ۴۱۶ درجه روز برگشت به عقب زمان آبیاری مشخص می‌گردد. در ادامه، تاریخ‌های به دست آمده به تاریخ ژولپوسی تبدیل گردید و در نتیجه برآوردهای ایستگاهی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9/3 با استفاده از روش درون‌یابی کوکریجینگ به صورت نقشه پهنه‌بندی ترسیم شد. روش کوکریجینگ برای مواردی استفاده می‌شود که دو متغیر دارای تغییرات مکانی بوده و داده‌های کافی از متغیر اصلی در دسترس نیست. در این گونه موارد متغیر ثانویه که باید دارای همبستگی بالایی با متغیر اصلی باشد، دارای همبستگی مکانی عرضی با متغیر اولیه است (Ayubi et al., 2007).

همچنین نیاز آبی زعفران در مراحل رشد از طریق تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_o) و ضریب گیاهی (K_c) مشخص گردید. برای برآورد تبخیر و تعرق از روش پنمن موتیث فائو استفاده شد، محاسبات این روش در محیط نرم‌افزار CROPWAT/8 انجام گردید. پارامترهای کمینه دما و بیشینه دما به سانتی‌گراد، بارش به میلی‌متر، سرعت باد برحسب متر بر ثانیه رطوبت نسبی برحسب درصد و آفتاب به صورت مجموع ساعات آفتابی برای هرماه در دوره درازمدت تنظیم و سپس در محیط نرم‌افزار مذکور جهت برآورد تبخیر و تعرق به میلی‌متر محاسبه گردید. روش معمول در تعیین نیاز آبی گیاهان استفاده از تبخیر- تعرق مرجع (ET_o) و اعمال ضریب گیاهی (K_c)، می‌باشد (Alizadeh, 1999)، (ET_c=ET_o.K_c)

نتایج و بحث

برآورد تاریخ احتمال وقوع یخبندان پاییزه و بهاره

نتایج تاریخ احتمال وقوع زمان آغاز و پایان دمای صفر درجه سانتی‌گراد، به عنوان مبنای دمای یخبندان در منطقه مورد مطالعه براساس داده‌های دمای کمینه روزانه در (جدول ۳) مشخص شده است. تاریخ وقوع یخبندان بهاره در بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه از اوایل تا اواخر فروردین‌ماه رخ می‌دهد. با توجه به اینکه در بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی زمان پایان آستانه

با توجه به پیشنهاد سازمان هواشناسی جهانی برای دمای صفر درجه سانتی‌گراد به عنوان یکی از آستانه‌های حرارتی برای بررسی تحقیقات آب و هوا و محصولات زراعی (Kamali, 2002; Mianabadi, et al., 2009)، این آستانه دمایی به عنوان مبنای برای برآورد تاریخ احتمال وقوع یخبندان پاییزه و بهاره در نظر گرفته شد. پس از آن سری زمانی دمای کمینه روزانه به روز شمار ژولپوسی برای به دست آوردن تاریخ احتمال وقوع آغاز و خاتمه یخبندان و آستانه-های فنولوژی زعفران تبدیل شد. از نرم افزار SMADA برای برازش دادن داده‌ها بر توزیع‌های، نرمال، لگاریتم نرمال، پیرسون تیپ ۳، لگاریتم پیرسون و گمبل در سطوح احتمالی مختلف استفاده شد. بعد از انتخاب توزیع آماری مناسب که دارای حداقل خطای برازش بود، سری زمانی آغاز و خاتمه یخبندان در سطوح مختلف به دست آمد. با استفاده از نیازهای اقلیمی مورد نیاز زعفران در دوره گلدهی (جدول ۲)، اقدام به تعیین تاریخ گلدهی در ایستگاه‌های مورد مطالعه گردید. برای اینکه گلدهی زعفران اتفاق بیافتد باید دمای روز و شب در این دوره ما بین ۲۲ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد باشد. بنابراین پس از مشخص کردن این محدوده دمایی و محاسبه درجه روزهای رشد زمان گلدهی بهینه در ایستگاه‌ها مشخص شد. با استفاده از شاخص درجه روزهای رشد (GDD^۱) درجه حرارت روزانه بر طبق رابطه (۱) تا تکمیل شدن نیاز گرمایی محاسبه شد. دمای پایه برای زعفران ۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Mohammadi et al., 2011)، که در این رابطه به عنوان دمای پایه در نظر گرفته شد. GDD، معرف درجه روز است که طی N روز جمع‌آوری شده است، T_{max}، بیشینه درجه حرارت روز، T_{min}، کمینه درجه حرارت روز و T_{BASE} درجه حرارت پایه یا صفر فیزیولوژیکی گیاه و N تعداد روزها در یک زمان مشخص را نشان می‌دهد (Macmaster & Wilhelm, 1997).

$$GDD = \sum_i^N \left[\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right] - T_{BASE} \quad (1)$$

زمانی که دمای روزانه به ۱۲ درجه سانتی‌گراد برسد گلدهی آغاز می‌شود. دو تا سه هفته بعد از آبیاری گلدهی آغاز می‌شود (Alizadeh et al., 2008). با توجه به اهمیت تاریخ اولین آبیاری قبل از گلدهی در اینجا بعد از مشخص شدن زمان گلدهی با برگشت

اواخر اسفند و دیررس‌ترین زمان آن در دهه اول اردیبهشت‌ماه در ایستگاه داران رخ می‌دهد.

صفر درجه و کمتر در روزهای فروردین‌ماه رخ می‌دهد بنابراین زمان وقوع احتمال یخبندان بهاره در بیشتر منطقه مورد مطالعه فروردین‌ماه می‌باشد. زودترین یخبندان بهاره در منطقه خور و بیابانک مصادف با

جدول ۲- نیازهای دمایی گیاه زعفران در آغاز گلدهی

Table2- Thermal requirments of Saffron plant at the beginning of flowering

پارامتر Parameter	شرایط Condition
درجه روز Degree Day	۴۱۶ درجه روز از آغاز کاشت تا شروع دوره گلدهی 416 degree day from planting to beginning flowering period
بیشینه دمای روز در آغاز گلدهی Maximum day temperature at beginning of flowering	۲۲ درجه سانتی‌گراد و کمتر در روز از شرایط آغاز دوره گلدهی 22 (°C) and less in day for beginning period flowering
کمینه دمای شب در آغاز گلدهی Minimum day temperature at beginning of flowering	حداقل ۱۰ درجه سانتی‌گراد و کمتر 10 (°C) and less
دمای بهینه برای گلدهی Optimum temperature for flowering	۱۲ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد 12-17 (°C)

مأخذ: نوکندی (Nokandi, 1999) و هالوی (Halevy, 1990)

یخبندان از اوایل آبان تا دهه دوم آذرماه طول می‌کشد. زودرس‌ترین یخبندان پاییزه در سوم آبان‌ماه در ایستگاه داران رخ می‌دهد. تقریباً در نیمه غربی استان اصفهان یخبندان پاییزه ۲۰ روز تا یک ماه جلوتر از نیمه شرقی اتفاق می‌افتد، به طوری که در ایستگاه داران ۳ آبان و خور و بیابانک ۱۱ آذرماه رخ می‌دهد. مناطق کاشان، نطنز، اردستان و خور و بیابانک که در نیمه شرقی و تقریباً در حاشیه کویر قرار گرفته‌اند، دهه اول آذرماه و بقیه مناطق استان با چند روز اختلاف از دهه اول آبان تا اواخر آبان ماه این شرایط دمایی کمینه را تجربه می‌کنند.

توزیع مکانی تاریخ احتمال وقوع یخبندان پاییزه براساس پهنه بندی (شکل ۲) نشان می‌دهد که، تاریخ وقوع این آستانه متاثر از وضعیت توپوگرافیکی و عامل ارتفاع می‌باشد، به طوری که از مناطق مرتفع نیمه غربی به سمت مناطق کم‌ارتفاع نیمه شرقی منطقه مورد مطالعه تاریخ وقوع یخبندان پاییزه با تأخیر تا اواسط آذر ماه به طول می‌انجامد. مناطق غرب و جنوب غرب در دهه اول آبان و مناطق دامنه‌های کوهستانی و نسبتاً مرتفع شمال و جنوب مانند ایستگاه‌های اصفهان، گلپایگان و کبوتر آباد در دهه دوم آبان‌ماه یخبندان پاییزه رخ می‌دهد. به طور کل، توزیع مکانی یخبندان کم و بیش از وضعیت توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند، در استان اصفهان تفاوت ارتفاع بین نیمه غربی و شرقی سبب تأخیر یک ماهه در رخداد این دمای کمینه شده است.

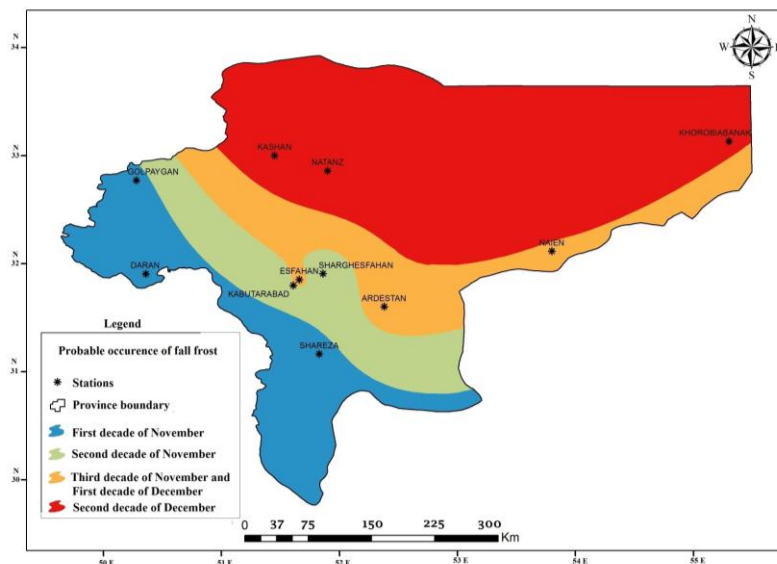
شرایط توپوگرافیکی به خصوص عامل ارتفاع تا حد زیادی در تعیین زمان وقوع آخرین رخداد دمایی یخبندان نقش تعیین کننده‌ای ایفا می‌نماید، به طوری که در منطقه خور و بیابانک در شرق استان با ۸۴۵ متر ارتفاع از سطح دریا آخرین تاریخ احتمال وقوع دمایی یخبندان در ۲۸ اسفند و در منطقه داران در غرب استان با ۲۲۹۰ متر ارتفاع از سطح دریا در هفتم اردیبهشت‌ماه رخ می‌دهد، در واقع شرایط توپوگرافیکی سبب چهل روز تأخیر در زمان وقوع دمایی یخبندان شده است. برای ایستگاه‌های دیگر نیز این شرایط مشاهده می‌شود، به طور نمونه، ایستگاه کاشان با ۹۴۵ متر و ایستگاه گلپایگان با ۱۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا به ترتیب اول و ۲۱ ام فروردین ماه این دمایی یخبندان را تجربه می‌کنند، ۲۰ روز تأخیر در در زمان رخداد این آستانه بین این دو منطقه وجود دارد، در حالی که فاصله چندان زیادی با هم ندارند. ایستگاه‌هایی با ارتفاع بالاتر از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا آخرین زمان وقوع دمایی یخبندان در آن‌ها از دهه سوم فروردین تا دهه اول اردیبهشت رخ می‌دهد. بنابراین عامل ارتفاع نقش تعیین کننده‌ای در توزیع زمانی و مکانی دمایی یخبندان دارد.

زمان رویش و گلدهی اولیه زعفران در مناطق مختلف در فصل پاییز از مهر تا آذرماه آغاز می‌شود، وقوع یخبندان زودرس پاییزه در زمان گلدهی موجب کاهش عملکرد زعفران می‌شود (Negby, 2006; Kozegaran et al., 2011). با توجه به اهمیت یخبندان زودرس پاییزه برای زعفران تاریخ احتمال وقوع یخبندان پاییزه در (جدول ۴) مشخص شده است. تاریخ احتمال وقوع اولین دمایی

جدول ۳- نتایج برآورد تاریخ احتمال وقوع آخرین یخبندان بهاره
Table 3- The estimated result of the probable occurrence of the last spring frost

	درصد احتمال وقوع								
	Percent of probability occurrence								
	1	5	10	20	50	75	90	95	99
	دوره بازگشت (سال)								
	Return period (year)								
	100	20	10	5	2	1.23	1.11	1.05	1.01
ایستگاه نطنز	۲۲ بهمن	۳ اسفند	۹ اسفند	۱۵ اسفند	۲۶ اسفند	۲۶ اسفند	۱۹ فروردین	۲۵ فروردین	۵ اردیبهشت
Natanz station	11 Feb	27 Feb	22Feb	28Feb	17 Mar	17 Mar	8 April	14 April	25 April
ایستگاه نائین	۲۹ بهمن	۸ اسفند	۱۲ اسفند	۱۷ اسفند	۲۷ اسفند	۲۷ اسفند	۱۳ فروردین	۱۷ فروردین	۲۶ فروردین
Naein	18 Feb	27 Feb	3 Mar	8 Mar	20 Feb	20 Feb	2 April	6 April	15 April
ایستگاه کاشان	۸ بهمن	۱۷ بهمن	۲۳ بهمن	۲۹ بهمن	۱۱ اسفند	۱۱ اسفند	۳۰ اسفند	۵ فروردین	۱۶ فروردین
Kashan	28 Jan	6Feb	12Feb	18Feb	2 Mar	2 Mar	21 Mar	25 Mar	5 April
ایستگاه شهرضا	۲۳ اسفند	۲۸ اسفند	۳۰ اسفند	۳ فروردین	۸ فروردین	۸ فروردین	۱۷ فروردین	۱۹ فروردین	۲۳ فروردین
Shahreza	14 Mar	19 Mar	21 Mar	23Mar	28 Mar	28 Mar	6 April	8 April	12 April
ایستگاه شرق اصفهان	۱۲ اسفند	۲۰ اسفند	۲۴ اسفند	۲۹ اسفند	۸ فروردین	۸ فروردین	۲۳ فروردین	۲۷ فروردین	۴ اردیبهشت
East of Isfahan	3 Mar	11 Mar	15 Mar	20 Mar	28 Mar	28 Mar	12 April	16 April	24 April
ایستگاه گلپایگان	۱۷ اسفند	۲۳ اسفند	۲۶ اسفند	۳۰ اسفند	۷ فروردین	۷ فروردین	۱۸ فروردین	۲۱ فروردین	۲۷ فروردین
Golpaygan	8 Mar	14 Mar	17 Mar	21 Mar	27 Mar	27 Mar	7 April	10 April	16 April
ایستگاه کبوتر آباد	۱۵ اسفند	۲۲ اسفند	۲۵ اسفند	۲۹ اسفند	۷ فروردین	۷ فروردین	۲۰ فروردین	۲۳ فروردین	۳۰ فروردین
Kabutarabad	6 Mar	13 Mar	16 Mar	20 Mar	27 Mar	27 Mar	9 April	12 April	19 April
ایستگاه اصفهان	۱ اسفند	۹ اسفند	۱۲ اسفند	۱۷ اسفند	۲۷ اسفند	۲۷ اسفند	۱۲ فروردین	۱۷ فروردین	۲۵ فروردین
Isfahan	20 Feb	28 Feb	3 Mar	8 Mar	18 Mar	18 Mar	1 April	6 April	14 April
ایستگاه اردستان	۱۱ بهمن	۱۹ بهمن	۲۳ بهمن	۲۹ بهمن	۱۰ اسفند	۱۰ اسفند	۲۶ اسفند	۱ فروردین	۱۰ فروردین
Ardestan	31 Jan	8 Feb	12 Feb	18 Feb	1 Mar	1 Mar	17 Mar	21 Mar	30 Mar
ایستگاه داران	۳ فروردین	۸ فروردین	۱۲ فروردین	۱۵ فروردین	۲۳ فروردین	۲۳ فروردین	۴ اردیبهشت	۷ اردیبهشت	۱۱ اردیبهشت
Daran	23 Mar	28 Mar	1 April	4 April	12 April	12 April	24 April	27 April	1 May
ایستگاه خورویابانک	۲۵ دی	۶ بهمن	۱۲ بهمن	۱۹ بهمن	۲ اسفند	۲ اسفند	۲۲ اسفند	۲۸ اسفند	۹ فروردین
Khurobiabanak	15 Jan	26 Jan	1 Feb	8 Feb	21 Feb	21 Feb	13 Mar	19 Mar	29 Mar

تاریخ وقوع
Occurrence Date



شکل ۲- پهنه بندی تاریخ احتمال وقوع یخبندان پاییزه
Figure 2- Zoning of the date of probable occurrence of fall frost.

جدول ۴- نتایج برآورد تاریخ احتمال وقوع یخبندان پاییزه
Table 4- The estimated result of the probable occurrence of fall frost

تاریخ وقوع Occurrence Date	درصد احتمال وقوع Percent of probability occurrence								
	1	5	10	20	50	75	90	95	99
	دوره بازگشت (سال) Return period (year)								
	100	20	10	5	2	1/23	1/11	1/05	1/01
ایستگاه نطنز Natanz	۱۷ مهر 9Oct	۲۵ مهر 17Oct	۳۰ مهر 22Oct	۵ آبان 27Oct	۱۶ آبان 7Nov	۲۴ آبان 15Nov	۱ آذر 22Nov	۶ آذر 27Nov	۱۴ آذر 5Dec
ایستگاه ناین Naien	۱۰ مهر 2Oct	۱۸ مهر 10Oct	۲۲ مهر 14Oct	۲۷ مهر 19Oct	۷ آبان 29Oct	۱۵ آبان 6Nov	۲۲ آبان 13Nov	۲۶ آبان 17Nov	۴ آذر 25Nov
ایستگاه کاشان Kashan	۲۹ مهر 21Oct	۶ آبان 28Oct	۱۰ آبان 1Nov	۱۳ آبان 4Nov	۲۰ آبان 11Nov	۲۶ آبان 17Nov	۲ آذر 23Nov	۵ آذر 26Nov	۱۰ آذر 1Dec
ایستگاه شهرضا Shahreza	۲۶ شهریور 17Sep	۲ مهر 24Sep	۶ مهر 28Sep	۱۱ مهر 3Oct	۲۰ مهر 12Oct	۲۷ مهر 19Oct	۴ آبان 26Oct	۸ آبان 30Oct	۱۶ آبان 7Nov
ایستگاه شرق اصفهان East of Isfahan	۲۸ شهریور 19Sep	۴ مهر 26Sep	۹ مهر 1Oct	۱۲ مهر 4Oct	۲۱ مهر 13Oct	۲۸ مهر 20Oct	۴ آبان 26Oct	۸ آبان 30Oct	۱۵ آبان 6Nov
ایستگاه کلیان Golpaygan	۹ مهر 1Oct	۱۶ مهر 8Oct	۱۹ مهر 11Oct	۲۳ مهر 15Oct	۱ آبان 23Oct	۸ آبان 30Oct	۱۴ آبان 5Nov	۱۸ آبان 9Nov	۲۴ آبان 15Nov
ایستگاه کبوتر آباد Kabutarabad	۱۵ شهریور 6Sep	۲۵ شهریور 16Sep	۳۱ شهریور 22Sep	۷ مهر 29Sep	۱۹ مهر 11Oct	۲۹ مهر 21Oct	۹ آبان 31Oct	۱۴ آبان 5Nov	۲۳ آبان 14Nov
ایستگاه اصفهان Isfahan	۱۴ مهر 6Oct	۲۱ مهر 13Oct	۲۵ مهر 17Oct	۳۰ مهر 22Oct	۸ آبان 30Oct	۱۶ آبان 7Nov	۲۲ آبان 13Nov	۲۶ آبان 17Nov	۳ آذر 25Oct
ایستگاه اردستان Ardestan	۹ آبان 31Oct	۱۴ آبان 5Nov	۱۶ آبان 7Nov	۲۰ آبان 11Nov	۲۶ آبان 17Nov	۱ آذر 22Nov	۶ آذر 22Nov	۸ آذر 29Nov	۱۳ آذر 4Dec
ایستگاه داران Daran	۱۹ شهریور 10Sep	۲۷ شهریور 18Sep	۳۱ شهریور 22Sep	۵ مهر 27Sep	۱۴ مهر 6Oct	۲۲ مهر 14Oct	۲۹ مهر 21Oct	۳ آبان 25Oct	۱۱ آبان 2Nov
ایستگاه خورویابانک Khurobiaban	۲۶ مهر 18Oct	۴ آبان 26Oct	۸ آبان 30Oct	۱۳ آبان 4Nov	۲۲ آبان 13Nov	۳۰ آبان 21Nov	۷ آذر 28Nov	۱۱ آذر 2Dec	۱۹ آذر 10Dec

برآورد تاریخ آستانه‌های فنولوژیکی زعفران

دمای کمینه ۵ درجه سانتی‌گراد و کمتر

صفر بیولوژیکی برای گیاه زعفران ۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Mohammadi et al., 2011). با توجه به اهمیت این آستانه فنولوژیکی تاریخ احتمال آن در (جدول ۵) مشخص شده است. توزیع زمانی نشان می‌دهد که این آستانه از اواخر مهرماه تا نیمه اول آذرماه متناسب با شرایط جغرافیایی هر منطقه رخ می‌دهد، به طوری که در مناطق نیمه غربی و سردسیر زمان وقوع این آستانه در مهرماه زودتر از دیگر مناطق رخ می‌دهد. در دیگر مناطق منطقه مورد مطالعه این آستانه از نیمه اول و دوم آبان‌ماه تا دهه اول آذرماه ادامه پیدا می‌کند. توزیع مکانی این آستانه براساس (شکل ۳) بیشتر از عامل ارتفاع تبعیت می‌کند، به طوری که از مناطق مرتفع نیمه غربی به سمت مناطق کم ارتفاع نیمه شرقی تاریخ وقوع این آستانه تا یک ماه به تأخیر می‌افتد.

آستانه شبانه روزی ۱۰ درجه سانتی‌گراد (دمای کمینه شبانه) و ۲۲

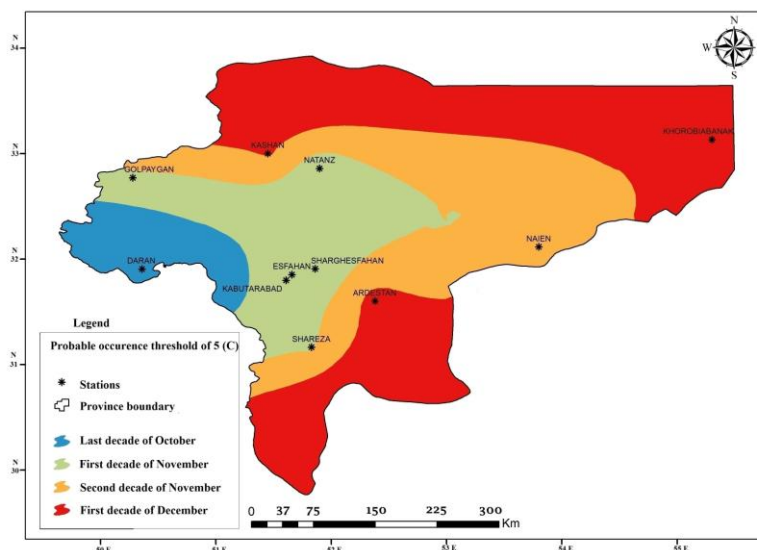
درجه سانتی‌گراد (دمای بیشینه روزانه)

برای اینکه گلدهی زعفران اتفاق بیافتد باید دمای روز و شب در این دوره ما بین ۲۲ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد باشد. با توجه به اهمیت این آستانه فنولوژیکی برای گلدهی زعفران، توزیع زمانی تاریخ احتمال وقوع این آستانه در (جدول ۶) مشخص شده است. زمان رخداد این آستانه از اوایل مهرماه تا اواخر آبان‌ماه متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه رخ می‌دهد.

در مناطق نیمه غربی با توجه به شرایط توپوگرافیکی و کاهش زود هنگام دمای پاییزه در این مناطق، زمان وقوع این آستانه در مناطقی مانند داران در اوایل مهرماه رخ می‌دهد. دیررس‌ترین زمان وقوع این آستانه نیز در مناطق نیمه شرقی تا دهه آخر آبان‌ماه در منطقه خور و بیابانک به طول می‌انجامد.

جدول ۵- نتایج برآورد تاریخ احتمال وقوع آستانه ۵ درجه سانتی گراد
Table5- The estimated results of 5 (°C) probable threshold occurrence

تاریخ وقوع Occurrence Date	درصد احتمال وقوع Percent of probability occurrence								
	1	5	10	20	50	75	90	95	99
	دوره بازگشت (سال) Return period (year)								
	100	20	10	5	2	1/23	1/11	1/05	1/01
ایستگاه نطنز Natanz	۱۷ مهر 9Oct	۲۵ مهر 17Oct	۳۰ مهر 22Oct	۵ آبان 27Oct	۱۶ آبان 7Nov	۲۴ آبان 15Nov	۱ آذر 22Nov	۱ آذر 22Nov	۱۴ آذر 5Dec
ایستگاه ناین Naien	۱۰ مهر 2Oct	۱۸ مهر 10Oct	۲۲ مهر 14Oct	۲۷ مهر 19Oct	۷ آبان 29Sep	۱۵ آبان 6Nov	۲۲ آبان 13Nov	۲۰ آبان 11Nov	۴ آذر 25Nov
ایستگاه کاشان Kashan	۲۹ مهر 21Oct	۶ آبان 28Oct	۱۰ آبان 1Nov	۱۳ آبان 4Nov	۲۰ آبان 11Nov	۲۶ آبان 17Nov	۲ آذر 23Nov	۱ آذر 22Nov	۱۰ آذر 1Dec
ایستگاه شهرضا Sahreza	۲۶ شهریور 17Sep	۲ مهر 24Sep	۶ مهر 28Sep	۱۱ مهر 30Oct	۲۰ مهر 12Oct	۲۷ مهر 19Oct	۴ آبان 26Oct	۱ آبان 23Oct	۱۶ آبان 7Nov
ایستگاه شرق اصفهان East of Isfahan	۲۸ شهریور 19Sep	۴ مهر 26Sep	۹ مهر 10Oct	۱۲ مهر 40Oct	۲۱ مهر 13Oct	۲۸ مهر 20Oct	۴ آبان 26Oct	۱ آبان 23Oct	۱۵ آبان 6Nov
ایستگاه گلپایگان Golpaygan	۹ مهر 10Oct	۱۶ مهر 8Oct	۱۹ مهر 11Oct	۲۳ مهر 15Oct	۱ آبان 23Oct	۸ آبان 30Oct	۱۴ آبان 5Nov	۱۲ آبان 3Nov	۲۴ آبان 15Nov
ایستگاه کبوتر آباد Kabutarabad	۱۵ شهریور 6Sep	۲۵ شهریور 16Sep	۳۱ شهریور 22Sep	۷ مهر 29Sep	۱۹ مهر 11Oct	۲۹ مهر 21Oct	۹ آبان 31Oct	۵ آبان 27Oct	۲۳ آبان 14Nov
ایستگاه اصفهان Isfahan	۱۴ مهر 6Oct	۲۱ مهر 13Oct	۲۵ مهر 17Oct	۳۰ مهر 22Oct	۸ آبان 30Oct	۱۶ آبان 7Nov	۲۲ آبان 13Nov	۲۰ آبان 11Nov	۳ آذر 24Nov
ایستگاه اردستان Ardestan	۹ آبان 31Oct	۱۴ آبان 5Nov	۱۶ آبان 7Nov	۲۰ آبان 11Nov	۲۶ آبان 17Nov	۱ آذر 22Nov	۶ آذر 27Nov	۲ آذر 23Nov	۱۳ آذر 4Dec
ایستگاه داران Daran	۱۹ شهریور 10Sep	۲۷ شهریور 18Sep	۳۱ شهریور 22Sep	۵ مهر 27Sep	۱۴ مهر 6Oct	۲۲ مهر 14Oct	۲۹ مهر 21Oct	۲۵ مهر 17Oct	۱۱ آبان 2Nov
ایستگاه خورویبایانک Khurobiabanak	۲۶ مهر 17Nov	۴ آبان 26Oct	۸ آبان 30Oct	۱۳ آبان 4Nov	۲۲ آبان 13Nov	۳۰ آبان 21Nov	۷ آذر 28Nov	۱ آذر 22Nov	۱۹ آذر 10Dec

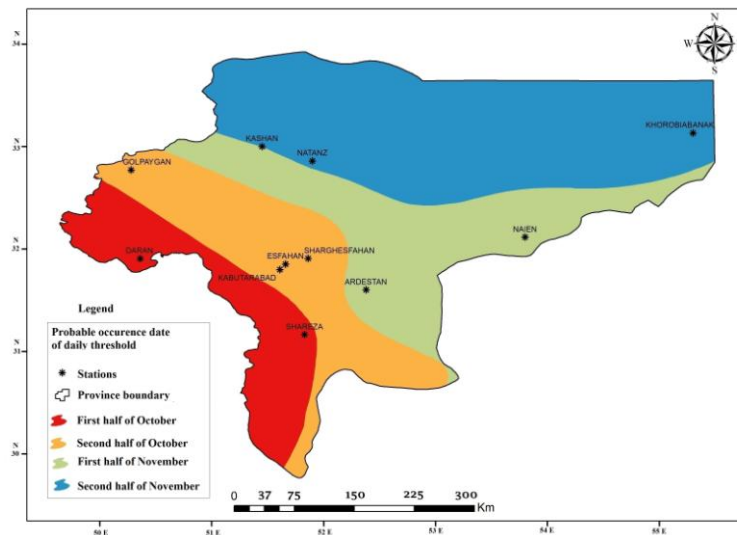


شکل ۳- پهنه‌بندی تاریخ احتمال وقوع آستانه ۵ درجه سانتی گراد
Figure 3- Zoning of the date of probable occurrence threshold of 5 (°C).

جدول ۶- نتایج تاریخ احتمال وقوع دمای کمینه ۱۰ درجه سانتی گراد در شب و بیشینه ۲۲ درجه سانتی گراد در روز

Table 6- The result of probable occurrence date of minimum temperature 10 (°C) at night and maximum temperature 22 (°C) in day

تاریخ وقوع Occurrence Date	درصد احتمال وقوع Percent of probability occurrence								
	1	5	10	20	50	75	90	95	99
	دوره بازگشت (سال) Return period (year)								
	100	20	10	5	2	1/23	1/11	1/05	1/01
ایستگاه نطنز Natanz	۲ مهر 24Sep	۹ مهر 1Oct	۱۳ مهر 5Oct	۱۷ مهر 9Oct	۲۶ مهر 18Oct	۲ آبان 24Oct	۹ آبان 31Oct	۱۲ آبان 3Nov	۱۹ آبان 10Nov
ایستگاه نائین Naïen	۹ شهریور 31Aug	۱۸ شهریور 9Sep	۲۴ شهریور 15Sep	۳۱ شهریور 22Sep	۱۳ مهر 5Oct	۲۳ مهر 15Oct	۳ آبان 25Oct	۸ آبان 30Oct	۱۹ آبان 10Nov
ایستگاه کاشان Kashan	۳۰ شهریور 21Sep	۷ مهر 29Sep	۱۱ مهر 3Oct	۱۷ مهر 9Oct	۲۷ مهر 19Oct	۶ آبان 28Sep	۱۳ آبان 5Oct	۱۸ آبان 10Oct	۲۷ آبان 19Oct
ایستگاه شهرضا Shahreza	۳ شهریور 25Agu	۸ شهریور 30Agu	۱۱ شهریور 2Sep	۱۴ شهریور 5Sep	۲۱ شهریور 12Sep	۲۶ شهریور 17Sep	۳۱ شهریور 22Sep	۳ مهر 25Sep	۸ مهر 30Sep
ایستگاه شرق اصفهان East of Isfahan	۷ شهریور 29Agu	۱۲ شهریور 3Sep	۱۵ شهریور 6Sep	۱۹ شهریور 10Sep	۲۷ شهریور 18Sep	۲ مهر 24Sep	۸ مهر 30Sep	۱۱ مهر 3Oct	۱۷ مهر 9Oct
ایستگاه گلپایگان Golpaygan	۱۵ شهریور 6Sep	۲۱ شهریور 12Sep	۲۵ شهریور 16Sep	۲۹ شهریور 20Sep	۶ مهر 28Sep	۱۳ مهر 5Oct	۱۸ مهر 10Oct	۲۲ مهر 14Oct	۲۸ مهر 20Oct
ایستگاه کبوتر آباد Kabutarabad	۴ شهریور 26Agu	۱۰ شهریور 1Sep	۱۲ شهریور 3Sep	۱۶ شهریور 7Sep	۲۴ شهریور 15Sep	۳۰ شهریور 21Sep	۴ مهر 26Sep	۸ مهر 30Sep	۱۲ مهر 4Oct
ایستگاه اصفهان Isfahan	۲۱ شهریور 13Oct	۲۷ شهریور 19Oct	۳۱ شهریور 22Sep	۴ مهر 26Sep	۱۱ مهر 30Oct	۱۷ مهر 9Oct	۲۲ مهر 14Oct	۲۶ مهر 18Oct	۱ آبان 23Oct
ایستگاه اردستان Ardestan	۶ مهر 28Sep	۱۳ مهر 5Oct	۱۷ مهر 9Oct	۲۳ مهر 15Oct	۲ آبان 24Oct	۱۰ آبان 1Nov	۱۷ آبان 8Nov	۱۰ آبان 1Nov	۲۹ آبان 20Nov
ایستگاه داران Daran	۵ شهریور 27Agu	۹ شهریور 31Agu	۱۰ شهریور 1Sep	۱۳ شهریور 4Sep	۱۹ شهریور 10Sep	۲۳ شهریور 14Sep	۲۷ شهریور 18Sep	۳۱ شهریور 20Sep	۳ مهر 25Agu
ایستگاه خورویبایانک Khurobiabanak	۵ مهر 27Sep	۱۲ مهر 4Oct	۱۷ مهر 9Oct	۲۳ مهر 15Oct	۲ آبان 24Nov	۱۰ آبان 1Nov	۱۷ آبان 8Nov	۲۱ آبان 12Nov	۲۹ آبان 12Nov



شکل ۴- پهنه بندی تاریخ احتمال وقوع آستانه شبانه روزی

Figure 4- Zoning of probable occurrence date of daily threshold.

ارتفاعات نیمه غربی موجب تأخیر در تکمیل شدن نیاز گلدهی زعفران در این بخش از منطقه شده است. با توجه به وضعیت توپوگرافی از غرب به شرق زمان گلدهی از مهر ماه به آبان ماه کشیده می‌شود.

تعیین تاریخ آبیاری

تاریخ آبیاری براساس نیاز دمایی زعفران برای گلدهی و برگشت ۴۱۶ روز یا ۲ تا سه هفته برگشت روز شمار بعد از تاریخ گلدهی به عقب مشخص شده است. تاریخ آبیاری در منطقه مورد مطالعه از نیمه دوم شهریور در مناطق مرتفع و سردسیر غربی تا اوایل آبان در مناطق شرقی متغیر می‌باشد، به طوری که براساس شرایط توپوگرافی زودترین زمان آبیاری در منطقه داران و دیرترین زمان در مناطق کم خور و بیابانک و کاشان رخ می‌دهد (جدول ۸). توزیع مکانی زمان آبیاری براساس (شکل ۶) نشان می‌دهد که از غرب به شرق استان متناسب با کاهش ارتفاع و افزایش دما زمان آبیاری قبل از گلدهی تا اوایل آبان ماه به تأخیر می‌افتد. بین مناطق نیمه غربی و شرقی استان اصفهان یک ماه تفاوت در زمان آبیاری وجود دارد.

بررسی آمار ثبت شده (Agriculture organization of Isfahan province, 2013)، کشت و تولید زعفران در استان اصفهان محدود به مناطق نیمه غربی، مرکزی و نیمه شرقی می‌باشد. می‌توان یکی از دلایل عمده کاهش عملکرد زعفران را عدم شناخت از وضعیت اقلیمی برای کشت زعفران و انجام آبیاری بدون در نظر گرفتن نیازهای دمایی زعفران و شرایط اقلیمی بر شمرد.

توزیع مکانی رخداد این آستانه براساس پهنه‌بندی (شکل ۴) نشان می‌دهد که عامل ارتفاع موجب تفاوت در زمان رخداد این آستانه از غرب به شرق در منطقه مورد مطالعه شده است، در واقع براساس شرایط توپوگرافی زمان رخداد این آستانه در دو بازه‌ی زمانی عمده، مهرماه برای مناطق مرتفع و کوهستانی نیمه غربی و آبان‌ماه برای مناطق کم ارتفاع نیمه شرقی رخ می‌دهد. با توجه به مطالعات کوزه-گران (Khozegaran et al., 2011) هرچه افت درجه حرارت در شب بیشتر باشد روز بعد تعداد گل بیشتری ظاهر خواهد شد و مناطقی که درجه حرارت زودتر در آن پایین می‌آید از نظر گلدهی جلوتر است، این شرایط در نیمه غربی استان اصفهان زودتر رخ می‌دهد و زمان گلدهی نیز متناسب با افت دما در اوایل پاییز زودتر از دیگر مناطق اتفاق می‌افتد.

تاریخ بهینه گلدهی زعفران

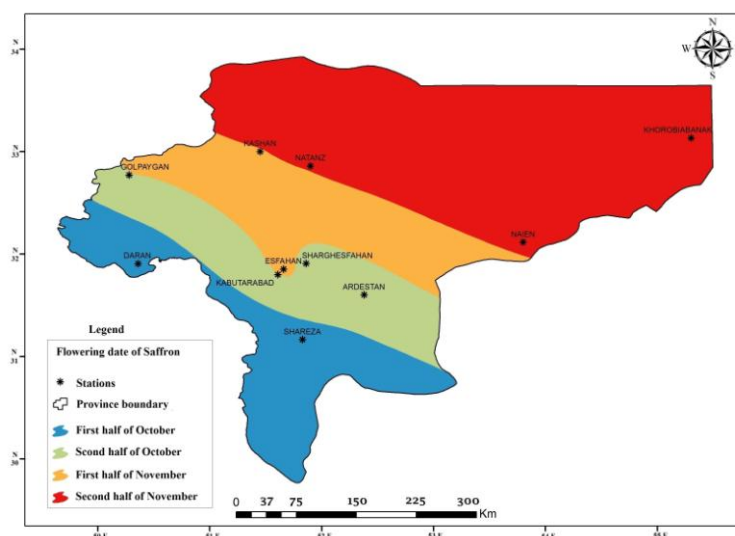
با در نظر گرفتن تاریخ وقوع آستانه شبانه روزی برای گلدهی زعفران و مقدار درجه روز مورد نیاز تا زمان گلدهی تاریخ بهینه گلدهی مشخص گردید. بررسی نتایج نشان می‌دهد که، تاریخ گلدهی زعفران در استان اصفهان از نیمه اول مهرماه تا اواخر آبان متناسب با شرایط توپوگرافی و اقلیمی هر منطقه رخ می‌دهد. از غرب به شرق استان اصفهان زمان گلدهی یک ماه تأخیر دارد (جدول ۷).

توزیع مکانی تاریخ گلدهی براساس پهنه‌بندی انجام شده (شکل ۵) نشان می‌دهد که، از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه زمان گلدهی تا اواخر آبان به تأخیر می‌افتد. کاهش دمای هوا در اثر

جدول ۷ - برآورد تاریخ بهینه گلدهی با توجه به آستانه‌های حرارتی و آمار درجه حرارت روزانه

Table 7- The estimated result of optimum flowering date based on thermal thresholds and daily temperature statistics

ایستگاه											
Station											
کوترباد	نطنز	Nataz	نائین	شرق اصفهان	گلپایگان	شهرضا	Shahreza	داران	Daran	اردستان	Ardستان
Kabutarabad	Natanz	Nataz	Naien	East of Isfahan	Golpaygan	Shahreza	Shahreza	Daran	Daran	Ardستان	Ardستان
تاریخ بهینه گلدهی زعفران											
Optimum flowering date of Saffron											
10 مهر	15 آبان	18 آبان	13 مهر	25 مهر	5 مهر	23 آبان	1 مهر	29 مهر	23 آبان	25 آبان	20 آبان
20Sep	6Nov	9Nov	23Sep	29Sep	27Sep	24Oct	23Sep	10Oct	16Nov	11Nov	11Nov



شکل ۵- پهنه بندی تاریخ بهینه گلدهی زعفران
Figure 5- Zoning of optimum flowering date of saffron.

جدول ۸- تاریخ بهینه آبیاری براساس تفریق درجه روزهای رشد به عقب

Table 8- The optimum irrigation date based on subtraction of backward growing degree days

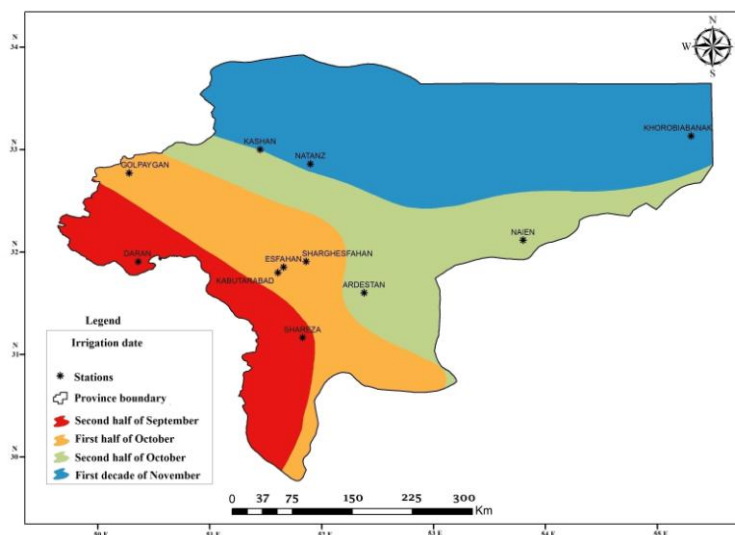
ایستگاه Station										
کاشان Kashan	خور و بیابانک Khurobabanak	داران Daran	اردستان Ardestan	شهرضا Shahreza	نطنز Natanz	نائین Natien	شرق اصفهان East of Isfahan	گیلیگان Golpaygan	کوتور آباد Kabutarabad	اصفهان Isfahan
تاریخ بهینه آبیاری برای زعفران Optimum date of Saffron irrigation										
۱	۶	۱۱	۳	۱۵	۱۰	۲۹	۲۵	۵	۲۱	۲۹
آبان	آبان	شهریور	آبان	شهریور	مهر	اکتبر	شهریور	مهر	شهریور	شهریور
23Oct	28Oct	2Sep	25Oct	6Sep	20Oct	21Oct	16Sep	27Sep	12Sep	20Sep

مطالعات کوزه‌گران و همکاران (Kouzegaran et al., 2011) نیز نشان داده که، عامل درجه حرارت حداقل در ماه‌های مصادف با ظهور گل زعفران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطالعات بهدانی و همکاران (Behdani et al., 2008) به نقل از کوزه‌گران و همکاران (Kouzegaran et al., 2011)، درجه حرارت حداقل عامل محرک گلدهی زعفران محسوب می‌شود. زمان آبیاری قبل از گلدهی متاثر از شرایط اقلیمی و ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه از اواسط شهریورماه در مناطق مرتفع و سردسیر غرب استان تا اوایل آبان‌ماه در مناطق کم‌ارتفاع و گرمسیر شرق و شمال استان متغیر می‌باشد. زمان

تاریخ گلدهی بهینه در استان اصفهان براساس شرایط اقلیمی از نیمه اول مهرماه در مناطق مرتفع و سردسیر تا اواخر آبان‌ماه در مناطق کم‌ارتفاع و گرم‌تر رخ می‌دهد. شرایط توپوگرافیکی منطقه بخصوص عامل ارتفاع در توزیع زمان رخداد تاریخ گلدهی و آبیاری زعفران نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌نماید. تاریخ گلدهی به دست آمده در منطقه مورد مطالعه با مناطق زعفران خیز خراسان رضوی از همخوانی بالاتری برخوردار می‌باشد. بنابراین بررسی شرایط فنولوژیکی زعفران براساس دمای کمینه برای تعیین تاریخ بهینه گلدهی حائز اهمیت می‌باشد.

علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2009) نشان داده که، تاریخ گلدهی و زمان انجام اولین آبیاری گیاه زعفران بسته به اقلیم و دمای منطقه مورد مطالعه متفاوت است.

عمده آبیاری قبل از گلدهی در مناطق کم ارتفاع نیمه شرقی استان اصفهان با مناطق زعفران خیز خراسان رضوی هم‌خوانی دارد، اما مناطق مرتفع نیمه غربی منطقه مورد مطالعه تاریخ آبیاری در نیمه دوم شهریور زودتر از مناطق خراسان رضوی رخ می‌دهد. مطالعات



شکل ۶- پهنه بندی زمان آبیاری در دوران قبل از گلدهی
Figure 6- Zoning of irrigation date before flowering.

نیاز آبی

مصادف با رشد انتهایی زعفران است، میزان تبخیر و تعرق نیز در ماه‌های این مرحله از رشد افزایش می‌یابد و ضریب گیاهی نیز کاهش می‌یابد. بیشترین میزان تبخیر و تعرق در ماه‌های مهر، فروردین و اردیبهشت رخ می‌دهد. براساس شکل (۷)، میزان تبخیر و تعرق ET_0 ، در ماه‌های دوره رشد زعفران در منطقه مورد مطالعه از عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا تبعیت می‌نماید، از شمال غرب و نیمه غربی به سمت نیمه جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه میزان ET_0 افزایش می‌یابد. مناطق مرتفع نیمه غربی استان به دلیل ارتفاع بالاتر از سطح دریا و مناطق نیمه شمالی به دلیل جغرافیایی بالاتر از میزان تبخیر و تعرق کمتری نسبت به دیگر مناطق برخوردار می‌باشند.

یکی از پارامترهای مهم در محاسبات نیاز آبی، ضریب رشد گیاهی (K_c) است که تغییرات آن به نوع گیاه، میزان رشد و فصل رویش گیاه بستگی دارد. طول دوره رشد گیاه زعفران ۲۲۰ روز (از ۱۰ مهر تا ۲۰ اردیبهشت) و دارای ۴ مرحله می‌باشد، مرحله اولیه (۱۰ مهر تا ۱۰ آبان)، مرحله توسعه (۱۱ آبان تا ۵ دی)، مرحله میانی (۶ دی تا

نیاز آبی زعفران مانند هر گیاه دیگر از روی ضرایب گیاهی^۱ (K_c) آن در طول دوره رشد و تبخیر-تعرق گیاه مرجع^۲ به دست می‌آید (Sepaskhah & Kamgar, 2009). طول دوره رشد زعفران که برابر با ۲۲۰ روز است از ۱۰ مهر تا ۱۰ اردیبهشت ادامه پیدا می‌کند به چهار مرحله تقسیم می‌گردد که ضریب گیاهی در هر یک از مراحل متفاوت است (Mohammadi et al., 2011). میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ET_0 را در ماه‌های مختلف مراحل رشد زعفران در منطقه مورد مطالعه در جدول (۱۰) مشخص شده است. بیشترین و کمترین میزان تبخیر و تعرق ET_0 در منطقه مورد مطالعه به ترتیب، در ماه‌های فصل بهار، فروردین و اردیبهشت و ماه‌های فصل سرد، دی و بهمن ماه رخ می‌دهد. میزان تبخیر و تعرق در ماه‌های سرد سال به دلیل افت دما کاهش می‌یابد، اما به دلیل اینکه زعفران در مرحله توسعه است ضریب گیاهی افزایش می‌یابد. در ماه‌های فصل بهار که

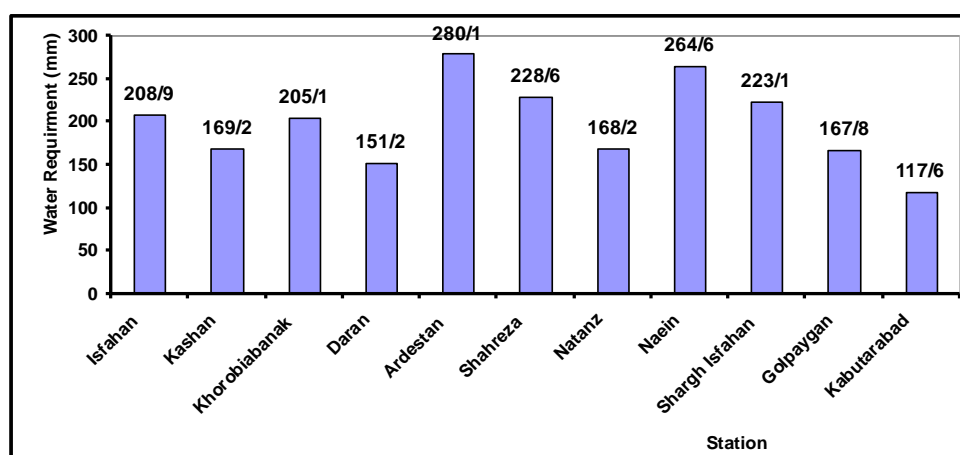
1-Crop Coefficients
2-Reference Plant Evapotranspiration

جدول ۹- ضریب گیاهی Kc، زعفران (علیزاده و همکاران، ۱۹۹۹)
Table 9- Saffron crop coefficient, Kc (Alizadeh et al., 1999)

ماه							
Month							
مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
ضریب گیاهی							
Crop Coefficient							
0.45	0.50	0.65	0.75	0.75	0.75	0.75	0.60

جدول ۱۰- میزان تبخیر و تعرق ETo بر حسب میلی متر در ماههای رشد زعفران
Table 10- The amount of evapotranspiration ETo in mm during saffron growing months

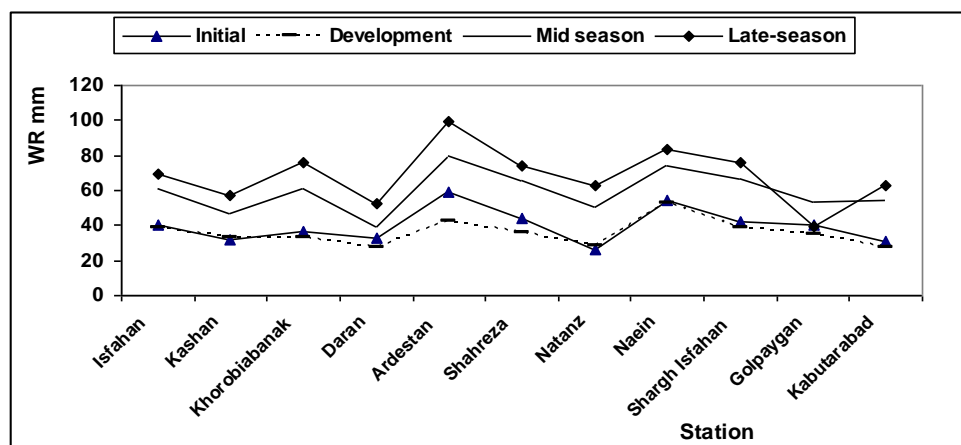
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	مجموع
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Total
اصفهان Isfahan	97.3	69	48.1	38.9	54.3	94	119.4	148.8	669
کاشان Kashan	85.6	47.5	54.9	43.2	39.9	53.3	98.4	100.7	523
خور و بیابانک Khorobiabanak	91.2	60.5	40.6	38.4	50.6	87.6	126.1	164.6	662
داران Daran	84.3	50.8	32.5	26.3	31.2	53.9	85.9	115.9	418
اردستان Ardestan	159.3	86.1	44.1	50.29	71.23	111.2	164.4	218.9	905
شهرضا Shahreza	119.9	64.4	45.4	43.7	52.5	94.2	135.7	186.4	743
نطنز Natanz	71.3	40	46.2	35.4	45.1	72.3	100.9	140.7	551
نابین Naein	137.7	88.3	73	51.8	73.3	104	142.2	180.7	856
شرق اصفهان Shargh Isfahan	108.5	68.9	46.7	43.6	62.9	94	131.2	162.2	711
گلپایگان Golpaygan	102.7	66.7	40.3	33.2	47.3	74.2	111.6	139.7	615
کیوتراآباد Kabutarabad	80.1	50.2	33.8	33.1	52.1	80.5	106.9	135.8	571



شکل ۸- میزان نیاز آبی زعفران به تفکیک هر ایستگاه
Figure 8- The amount of saffron water requirement for each station.

جدول ۱۱- میزان تبخیر و تعرق ETo، ضریب گیاهی Kc و نیاز آبی WR به میلی متر در روز
Table 11- Evapotranspiration ETo, crop coefficient Kc, and water requirements WR, mm per day

	مرحله رشد Growth Stages												مجموع WR (Growth Stages) mm
	اولیه Initial			توسعه Development			میانی Mid season			انتهایی Late-season			
	ETo	Kc	WR	ETo	Kc	WR	ETo	Kc	WR	ETo	Kc	WR	
اصفهان Isfahan	85.1	0.48	39.9	58.8	0.65	38	76.6	0.80	61.3	134.1	0.52	69.7	208.9
کاشان Kashan	66.5	0.48	31.9	51.2	0.65	33.2	58.7	0.80	47	99.5	0.52	57.1	169.2
خوروبابانک Khorobiabanak	75.8	0.48	36.4	50.5	0.65	32.8	75.6	0.80	60.5	145.3	0.52	75.5	205.1
داران Daran	67.5	0.48	32.4	41.6	0.65	27	49.3	0.80	39.4	100.9	0.52	52.4	151.2
اردستان Ardestan	122.2	0.48	58.5	65.1	0.65	42.3	92.9	0.80	79.4	191.6	0.52	99.6	280.1
شهرضا Shahreza	92.1	0.48	44.1	54.9	0.48	35.6	81.5	0.80	65.2	161	0.52	83.7	228.6
نطنز Natanz	55.6	0.48	26.7	43.2	0.65	28	63.5	0.80	50.7	120.8	0.52	62.8	168.2
ناین Naein	113	0.48	54.2	80.6	0.65	52.3	92.8	0.80	74.2	161.4	0.52	83.9	264.6
شرق اصفهان Shargh Isfahan	88.7	0.48	42.5	58.7	0.65	38.1	89.2	0.80	66.3	146.7	0.52	76.2	223.1
گلپایگان Golpaygan	84.7	0.48	40.6	53.3	0.65	34.7	66.5	0.80	53.2	75.3	0.52	39.9	167.8
کبوترآباد Kabutarabad	65.1	0.48	31.2	42	0.65	27.3	67.1	0.80	54.5	121.3	0.52	63.1	117.6
مجموع نیاز آبی به میلی‌متر Total WR (mm)			438.7			362			651.7			763.3	2215.7



شکل ۹- نیاز آبی زعفران در مراحل رشد
Figure 9- The saffron water requirement in the growth stages.

- agronomical years, 2007-2008 to 2009-2010, Report of statistics and data administration. (In Persian).
- Akbarpour, A., Khorashidzadeh, O., Shahidi, A., and Ghochanian, E. 2013. Performance evaluation of artificial neural network model in estimate production of yield saffron based on climate parameters. *Journal of Saffron Research* 1: 27-35. (In Persian with English Summary).
- Alavizadeh, S.A.M., Monazzam Esmaeel Pour, A., and Hosseinzadeh kermani, M. 2013. Possibility study of areas with potential cultivation of saffron in Kashmar plain using GIS. *Saffron Agronomy & Technology* 1: 71-95. (In Persian with English Summary).
- Alizadeh, A., and Koocheki, A. 1978. Climate and agriculture: an ecological survey. Ferdowsi University Publication, Mashhad. pp. 447. (In Persian).
- Alizadeh, A., Mahdavi, M., Inanloo, M., and Bazari, M.I. 1999. Potential evapotranspiration and crop coefficient of saffron. *Geographical Research* 54: 29-42. (In Persian with English Summary).
- Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J., and Mohamadian, A. 2008. Study for zoning the appropriate time of irrigation of saffron (*Crocus Sativus*) in Khorasan Razavi, northern and southern provinces. *Journal of Water and Soil* 23: 109-118. (In Persian with English Summary).
- Ayubi, S., Mohammad zamani, S., and Khormaei, F. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan province. *Journal of Agriculture Scientific and Natural Resource* 14: 1-10. (In Persian with English Summary).
- Halevy, A.H. 1990. Recent advance in control of flowering habit of geophytes. *Acta Horticulture* 266: 35-42.
- Jafarbayglo, M., and Mobaraki, Z. 2008. Detecting the landing proportion of Qazvin province for cultivating saffron based on the multi – criterion decision-making methods. *Journal of physical Geography Researchs* 66: 101-119. (In Persian with English Summary).
- Kamali, G. 2007. The bioclimatic plan of saffron in south Khorasan by cooperating with Khorasan meteorology administration. The Organization of Scientific and Industrial Research. Mashhad. (In Persian).
- Kamali, G. 2002. Probability of damaging colds in Iran agriculture case study of Tehran. *Quarterly of Geographical Researches* 63-67: 149-165. (In Persian with English Summary).
- Kamyabi, S., Habibi Nokhandan, M., and Rouhi, A. 2014. Effect of climatic factors affecting saffron using analytic hierarchy process (AHP); (Case Study Roshtkhar Region, Iran). *Journal of Saffron Agronomy & Technology* 2: 75-90. (In Persian with English Summary).
- Kouzegaran, S., Mousavi Bayegi, M., Snaei Nejad, S., and Behdani, M.A. 2011. Investigation of the temperature minimum, mean and maximum in south Khorasan saffron to identify suitable areas using GIS, *Journal of Soil and Water* 25: 892-904. (In Persian with English Summary).
- McMaster, G.S., and Wilhelm, W.W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87: 291-300.
- Mianabadi, A., Mousavi Baygi, M., Sanainejad, H., and Nezami, A. 2009. Assessment and mapping of early autumn, late spring and winter freezing in Khorasan Razavi province using GIS. *Journal of Water and Soil* 23: 79-90. (In Persian with English Summary).
- Mohamadi, H., Ranjbar, F., and Soltani, M. 2011. Climatic potentials assessment for saffron cultivation in Marvdasht. *Journal of Geography and Environmental Planning* 22: 143-154. (In Persian with English Summary).
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L., and Garcia-Luis, A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L). *Scientia horticulturae* 103: 361-379.
- Nasohy, G. 2007. Weather and crops. Nasoh publication, Isfahan. pp. 173. (In Persian).
- Negby, M. 2006. Saffron (*Crous sativus* L.). Harwood Academic publisher. London. pp. 148.
- Nokandi, A. 1999. Climate effects on saffron planting in south of Khorasan, M.A dissertation, Faculty of Geography & Planning, Isfahan University. (In Persian).
- Sepaskhah, A.R., and Kamgar Haghighi, A.A. 2009. Saffron irrigation regime. *International Journal of Plant Production* 3: 1-16.
- Sharifan, H., and Hezarjaribi, A. 2011. Principales and practices of meteorology and climatology from view point of agriculture. Ajand Publication. Sabzevar. pp. 488. (In Persian).

The estimation of phenological thresholds of Saffron cultivation in Isfahan province based on the daily temperature statistics

Gholamabbas Fallahghalhari¹, Hamzeh Ahmad^{2}*

*1, 2 Assistant Professor and Ph.D. Student of Agro Climatology, Department of Climatology, Hakim Sabzevari University, respectively
(* - Corresponding Author E-mail: Hamzehahmadi2009@gmail.com)*

Received: 11 October 2014

Accepted: 25 February 2015

Abstract

In this research, the statistics of daily temperature of meteorology stations for estimating the probable occurrence of the first and last frost temperature, the phenological thresholds of saffron and its flowering and irrigation dates were explored. Furthermore, by applying different methods, the probabilities of the attained dates in different probability levels were fit in Smada software. The estimated probability level of 95 percent, as the optimum date, was donated for the entire Isfahan province in ArcGIS9/3 software environment using the interpolation method of Cokriging. The time of occurrence of minimum temperatures is under the influence of the geographical and height condition of each region and the first fall season frost occurs in high regions of the eastern half of Isfahan province at the beginning of November and in the low-lying eastern regions in the late December. The occurrence of daily temperature is changeable from the first half of October and the second half of November. From the west to the east of Isfahan, the time of occurrence of this threshold has a delay of about one month. The optimum flowering date of saffron, based on climatic conditions, is from the first half of October to the late of November. By considering the flowering date and daily temperature requirement of saffron, the irrigation date prior to flowering continues from the second half of September in the western parts and the beginning of November in the eastern regions. From the perspective of thermal condition, the western, central, northern and eastern parts of Isfahan province are more suited to the cultivation and development of saffron product. The amount of water requirement in the study area based on evapotranspiration and crop coefficients of saffron occurred in the mid-season, late season and Initial.

Keywords: *Climate condition, Growth degree days, Minimum temperature, Saffron, Water requirement*