

تأثیر افزایش درجه حرارت بر رفتار گلدهی زعفران (*Crocus sativus* L.)

علیرضا کوچکی^{۱*} - امین علیزاده^۲ - علی گنجعلی^۳

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۸۸/۹/۲۳

چکیده

گلدهی زعفران شامل یک دوره تلقیح در درجه حرارت های بالا برای القای گلدهی و یک دوره درجه حرارت پایین برای ظهور گلها می باشد. با توجه به حساسیت فرآیند گلدهی این گیاه به تغییرات دما به نظر می رسد که افزایش درجه حرارت ناشی از تغییر اقلیم بر گلدهی آن موثر باشد بنابراین با اجرای آزمایش در محیط کنترل شده رفتار گلدهی زعفران در پاسخ به افزایش درجه حرارت در این مراحل نمو مورد بررسی قرار گرفت. بنه های زعفران با وزن مشابه از دو نوع بوته های مادری سبز یا کاملاً خشک شده از مزرعه جمع آوری شده و پس از کاشت در گلدان های پلاستیکی در سه درجه حرارت ۲۷، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتیگراد و در هر درجه حرارت به مدت ۷۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز قرار گرفتند تا دوره تلقیح سپری شود. سپس بنه های تلقیح شده در درجه حرارت های ۲۷، ۲۵ و ۳۰ به ترتیب به دمای ۱۷، ۱۹ و ۲۱ درجه سانتیگراد انتقال یافتند تا مرحله ظهور گل تکمیل گردد. به این ترتیب تعداد روز تا گلدهی، سرعت نمو و خصوصیات رویشی زعفران در سه رژیم حرارتی ۲۵/۱۷، ۲۷/۱۹ و ۳۰/۲۱ درجه سانتیگراد در ترکیب با سه دوره تلقیح و دو زمان انتقال بنه در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش درجه حرارت دوره تلقیح تغییراتی در رفتار گلدهی زعفران بروز نمود بطوریکه در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد بدون توجه به طول دوره تلقیح، گلدهی انجام نشد. افزایش طول دوره تلقیح نیز اثرات منفی بر ظهور گلها داشت و در دوره تلقیح ۱۲۰ روزه گلدهی تنها در رژیم دمایی ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد صورت گرفت. با وجودیکه بالاترین سرعت نمو در رژیم حرارتی ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد و در دوره تلقیح ۱۲۰ روزه مشاهده شد ولی با توجه به سایر صفات بررسی شده، رژیم دمایی ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد با دوره تلقیح ۹۰ روزه برای هر دو زمان انتقال بنه های بعنوان مناسب ترین محیط برای گلدهی شناخته شد زیرا زمان ظهور جوانه های رویشی و تعداد این جوانه ها در رژیم دمایی مذکور در حد مطلوبی قرار داشت. واکنش بنه های انتقال یافته از بوته های سبز یا خشک شده به افزایش درجه حرارت و طول دوره تلقیح تفاوت معنی داری نداشت ولی بطور کلی تعداد روزهای کاشت تا گلدهی در بنه های منتقل شده از بوته های سبز در حدود ۵ روز طولانی تر بنه های انتقال یافته از بوته های خشک بود. مقایسه یافته های این تحقیق با میانگین درجه حرارت در مناطق کشت زعفران در استان های خراسان نشان داد که در صورت افزایش میانگین دمای تابستان و پاییز به میزان ۲ درجه سانتیگراد، گلدهی این گیاه به میزان قابل توجهی به تأخیر خواهد افتاد.

واژه های کلیدی: زعفران، تغییر اقلیم، گلدهی، سرعت نمو، خصوصیات رویشی

مقدمه

استانهای خراسان رضوی و جنوبی برداشت می شود.

علاوه بر کاربردهای بسیار وسیع این گیاه در صنایع غذایی (۲۰)، (۲۵) گزارشات اخیر در مورد خصوصیات دارویی و بویژه ضد سرطانی زعفران (۵ و ۳۱) توجه محققین را به جنبه های مختلف تولید و فرآوری این گیاه جلب کرده است. با این حال اطلاعات موجود در مورد فنولوژی این گیاه که مبنای تولید عملکرد (گل) می باشد بسیار محدود می باشد (۱۸ و ۳۴).

مولینا و همکاران (۳۴) با اجرای آزمایشاتی در محیط های کنترل شده نشان دادند که درجه حرارت عامل اصلی تنظیم مکانیزم گلدهی در زعفران است. بعلاوه نتایج تحقیقات مشخص ساخته است که تناوب حرارتی (دمای شب و روز) تأثیر قابل توجهی بر گلدهی این

زعفران یکی از با ارزش ترین گیاهان زراعی جهان است و بر اساس گزارشات موجود در حال حاضر کشورهای ایران، اسپانیا، ترکیه، یونان، ایتالیا، هندوستان (کشمیر)، مراکش و برخی کشورهای آسیای میانه مناطق اصلی تولید آن محسوب می شوند (۱۸). تولید سالانه این گیاه در جهان بالغ بر ۲۰۵ تن برآورد شده (۲۴) که در حدود ۷۵ (۱۶) تا ۸۰ درصد (۲۵) آن از مساحتی بالغ بر ۴۶۰۰۰ هکتار واقع در

۱ و ۲ - استادان دانشکده کشاورزی، دانشگاه فروس می مشهد
(*) نویسنده مسئول: (Email: akooch@ferdowsi.um.ac.ir)

۳ - استادیار پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فروس می مشهد

میانگین درجه حرارت ماهانه در طی این دوره زمانی بیشترین همبستگی را با کاهش عملکرد دارد.

از سوی دیگر پیش بینی های انجام شده در مورد تأثیر تغییر اقلیم بر شاخص های اگروکلیماتیک ایران نشان داده است که میانگین درجه حرارت در مناطق اصلی کشت زعفران طی ۱۵ سال آینده در حدود ۱/۴ تا ۱/۹ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت (۲۶). بدیهی است که این تغییرات دمایی که در فاصله زمانی کوتاهی در حال انجام است رفتار گلدهی زعفران را تحت تأثیر قرار می دهد. در این ارتباط کوچکی و همکاران (۴) با استفاده از یک مدل شبیه سازی برای پیش بینی مراحل نموی زعفران تأثیر تغییر اقلیم را بر رفتار گلدهی این گیاه بررسی کرده و نشان دادند که به ازای هر یک درجه سانتیگراد افزایش میانگین دمای روزانه نسبت به دمای بهینه، گلدهی زعفران در حدود ۳۲ روز به تاخیر خواهد افتاد.

اطلاعات موجود در مورد واکنش مراحل فنولوژی گیاهان زراعی به تغییر اقلیم بسیار محدود بوده (۹ و ۲۳) و در مورد زعفران نیز علیرغم حساسیت این گیاه به درجه حرارت تحقیقات جامعی انجام نشده است. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی رفتار گلدهی زعفران به افزایش درجه حرارت در شرایط کنترل شده و تکمیل اطلاعات لازم برای پیش بینی الگوهای نموی این گیاه در شرایط اقلیمی آینده است.

مواد و روش ها

مواد آزمایشی: بنة های مورد نیاز برای این آزمایش در بهار و ابتدای تابستان از مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه گردید. بمنظور ارزیابی زمان انتقال بنة بر الگوهای گلدهی، بنة ها در دو نوبت به ترتیب از بونه های مادری سبز و بونه های مادری کاملاً خشک شده از مزرعه ای سه ساله جمع آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. کلیه بنة های مورد استفاده از نظر اندازه مشابه و در دامنه وزنی ۸ تا ۱۰ گرم انتخاب شدند. بنة های انتخاب شده در گلدانهای پلاستیکی ۲ لیتری که با خاک سبک (لوم شنی) پر شده بود کاشته شده (در هر گلدان یک بنة) و برای اجرای آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند.

روش اجرا و فاکتورهای آزمایش: تأثیر درجه حرارت و طول دوره تلقیح بر رفتار گلدهی زعفران در شرایط کنترل شده درون اتاقک رشد آزمایشگاههای فیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی و پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد بر روی مواد آزمایشی مورد مطالعه قرار گرفت. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از:

رژیم حرارتی تناوبی در سه سطح بگونه ای طراحی شد که در انطباق با شرایط طبیعی بنة ها ابتدا در یک دوره درجه حرارت بالا برای القای گلدهی (دوره تلقیح) قرار گرفته و سپس یک دوره درجه

گیاه نداشته و میانگین دمای روزانه مهمترین متغیر محیطی برای توصیف رفتار گلدهی زعفران محسوب می شود (۲۴ و ۴۰). البته نتایج مطالعات گرسا و همکاران (۲۱) حاکی از آن است که علاوه بر درجه حرارت، رطوبت خاک نیز در تنظیم رفتار گلدهی زعفران نقش تعیین کننده ای دارد. تأثیر آبیاری تکمیلی بویژه در انتهای تابستان در تسریع گلدهی و افزایش عملکرد زعفران توسط بهدانی و همکاران (۱۰) و صادقی (۲) نیز گزارش شده است. با این وجود، اینکه آیا تأثیر آبیاری از طریق تعدیل درجه حرارت خاک در ماههای گرم تابستان بوده و یا بطور مستقیم بر گلدهی زعفران موثر است، بدرستی مشخص نمی باشد.

مراحل نموی زعفران پس از پایان دوره خواب بنة ها که بسته به شرایط منطقه از اواخر اردیبهشت تا تیر ماه متغیر است (۸ و ۲۸) بطور دقیق با تغییرات درجه حرارت انطباق یافته است. تشکیل گل در بنة به یک دوره درجه حرارت بالا نیاز دارد که در ماههای تابستان تامین می شود. با تکمیل شدن این مرحله نموی، یک دوره درجه حرارت پایین برای ظهور گلهای زعفران نیاز است (۱۸، ۲۵ و ۲۱). طول هر دو مرحله گلدهی به دمای محیط بستگی دارد و محققین (۴ و ۳۴) مقادیر مختلفی را در مورد درجه حرارت های حداقل، حداکثر و بهینه برای این مراحل گزارش کرده اند. البته شواهد موجود حاکی از آن است که ژنوتیپ های زعفران بسته به منطقه رشد، تطابق محیطی گسترده ای یافته اند (۱۸) و تفاوت های مشاهده شده در مورد نیازهای حرارتی این گیاه احتمالاً به همین دلیل می باشد. با توجه به انطباق دقیق مراحل گلدهی زعفران با دمای محیط، بنظر می رسد که تغییرات سریع اقلیمی سیکل طبیعی نمو این گیاه را دچار اختلال کرده و در نتیجه بر عملکرد این گیاه تأثیر خواهد گذاشت.

تغییرات سالانه عملکرد زعفران نظیر اکثر گیاهان زراعی عمدتاً تحت تأثیر روشهای مدیریت قرار دارد (۲۰ و ۲۴) در حالیکه هر گونه تغییر در روند دراز مدت عملکرد با عوامل محیطی کنترل کننده رشد و نمو گیاهان در ارتباط می باشد (۷ و ۳۰). بسیاری از محققین تغییرات دراز مدت در روند فنولوژی و عملکرد گیاهان را به تغییر اقلیم و بویژه گرمایش جهانی نسبت داده اند. مومن و همکاران (۳۶) با بررسی تغییرات اقلیمی ۱۲۲ سال گذشته در ایتالیا نشان دادند که این تغییرات عامل اصلی نوسانات دراز مدت در عملکرد محصولات زراعی این کشور بوده است. شواهد مبنی بر افزایش درجه حرارت و تأثیر آن بر تولید گیاهان زراعی در مناطق مختلف جهان از جمله شمال و مرکز اروپا (۲۲)، کانادا (۱۲)، استرالیا و نیوزیلند (۳۷) چین (۱۹ و ۴۱) و ایران (۳ و ۲۷) وجود دارد. بنابراین بنظر می رسد که چنین ارتباطی در مورد روند کاهش عملکرد زعفران در طی سالهای اخیر نیز صادق باشد. حسینی و همکاران (۱) با استفاده از سری های زمانی نشان دادند که در طی ۱۰ سال گذشته عملکرد زعفران در مناطق اصلی تولید این گیاه در استان خراسان روندی کاهشی داشته است و افزایش

نتایج و بحث

طول دوره نمو

میانگین فاصله زمانی کاشت بنه تا گلدهی (طول دوره نمو) در حدود ۱۳۰ روز بود، در رژیم حرارتی ۳۰/۲۱ درجه سانتیگراد بطور کلی گلدهی انجام نشد و تفاوت معنی داری از نظر طول دوره نمو بین رژیم های دمایی ۲۵/۱۷ و ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد مشاهده نشد. البته تعداد روزهای لازم برای ظهور گلها بعد از انتقال بنه ها به درجه حرارت های پایین در دمای ۱۹ بطور معنی داری کمتر از دمای ۱۷ درجه سانتیگراد بود (جدول ۱، شکل ۱).

وابستگی رفتار گلدهی زعفران به درجه حرارت توسط محققین مختلف به اثبات رسیده است و تغییرات زمان ظهور گل در مناطق مختلف تولید این گیاه از دمای محیط تبعیت می کند (۲۱ و ۴۰). مولینا و همکاران (۳۴) با آزمایش در محیط کنترل شده نشان دادند که دمای بهینه برای دوره تلقیح و دوره ظهور گل به ترتیب ۲۵ و ۱۷ درجه سانتیگراد بوده و چنانچه دمای دوره تلقیح ۳۰ درجه سانتیگراد یا بالاتر باشد گلدهی انجام نخواهد شد. این محققین تعداد روز از کاشت تا گلدهی را برای بنه هایی که به مدت ۷۷ روز در دمای ۲۳، ۲۵ و ۲۷ درجه سانتیگراد تلقیح شده بودند به ترتیب ۱۲۳، ۱۲۸ و ۱۴۱ روز تعیین کردند و اظهار داشتند که بیشترین تعداد گل در بنه هایی ظاهر شد که به مدت ۹۰ تا ۱۰۰ روز در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد تلقیح شده و سپس به دمای ۱۷ درجه سانتیگراد انتقال یافته بودند. کوچکی و همکاران (۴) با استفاده از یک مدل شبیه سازی نمو و بر اساس داده های مزرعه ای دمای بهینه دوره ظهور گل در زعفران را ۱۸ تا ۱۸/۵ و حداکثر دما برای این دوره را ۲۲ درجه سانتیگراد گزارش کردند. این محققین تعداد روز تا گلدهی در مرحله دوم نمو را در دمای بهینه ۳۴ روز تعیین کردند در حالیکه در مطالعه مولینا و همکاران (۳۴) طول این دوره را در دمای بهینه ۴۰ روز گزارش کرده اند. یافته های این تحقیق نشان داد (جدول ۱) که تعداد روز تا گلدهی بعد از انتقال به دمای پایین در رژیم حرارتی ۲۷/۱۹ کوتاه تر و در حدود ۳۸ روز می باشد که با نتایج کوچکی و همکاران (۴) قابل مقایسه است.

با افزایش طول دوره تلقیح در دمای بالا، طول دوره نمو افزایش ولی طول دوره دوم گلدهی بطور معنی داری کاهش یافت (جدول ۱). مولینا و همکاران (۳۴) طول مطلوب دوره تلقیح را ۷۰ تا ۹۰ روز گزارش کرده و بیان داشتند که چنانچه این دوره ۱۵۰ روز یا بیشتر ادامه یابد گلدهی انجام نخواهد شد.

حرارت پایین را برای ظهور گلها (دوره دوم گلدهی) سپری کنند. اولین رژیم حرارتی بر اساس مقادیر گزارش شده توسط مولینا و همکاران (۳۴) به عنوان دمای بهینه به ترتیب ۲۵ و ۱۷ درجه سانتیگراد برای دوره اول و دوره دوم گلدهی زعفران انتخاب گردید. بعلاوه دو رژیم حرارتی دیگر نیز به صورت ۲۷ و ۱۹ درجه سانتیگراد و ۳۰ و ۲۱ درجه سانتیگراد برای هر یک از دو مرحله گلدهی انتخاب شد تا تأثیر افزایش درجه حرارت نسبت به دمای بهینه مورد ارزیابی قرار گیرد. این سه رژیم حرارتی در ادامه بصورت ۲۵/۱۷، ۲۷/۱۹ و ۳۰/۲۱ در مقاله ظاهر خواهند شد.

طول دوره تلقیح (دوره درجه حرارت بالا) در سه سطح ۷۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز انتخاب و بنه ها پس از سپری شدن این دوره تلقیح به درجه حرارت های بالا انتقال یافتند. انتخاب طول دوره تلقیح بر اساس نتایج آزمایشات مولینا و همکاران (۳۴) در محیط کنترل شده بود. این محققین حداقل طول این دوره را برای القای گلدهی را حداقل ۷۰ روز گزارش کردند و نشان دادند که در دوره های طولانی تر از ۱۲۰ روز گلدهی کاهش یافته و در دوره ۱۵۰ روزه یا طولانی تر اساساً گلدهی انجام نخواهد شد.

زمان خروج بنه نیز شامل بنه های جمع آوری شده از بوته های مادری سبز و کاملاً خشک شده بود. نتایج برخی مطالعات (۳۵) نشان داده است که انتقال کورم از بوته های سبز در مقایسه با بوته های در حال خواب (کاملاً خشک) زمان ظهور گلهای زعفران را تسریع خواهد کرد.

شروع دوره تلقیح برای بنه های منتقل شده از بوته های سبز و خشک به ترتیب ۱۴ و ۲۴ تیر ماه بود. کلیه گلدانها پس از پایان دوره تلقیح و پیش از انتقال به دمای پایین آبیاری شدند.

تجزیه و تحلیل داده ها: فاصله زمانی بین زمان انتقال گلدانها به درجه حرارت پایین و ظهور گل بعنوان طول مرحله دوم گلدهی ثبت گردید و با معکوس کردن طول این دوره (روز) سرعت نمو (روز^{-۱}) در هر یک از ۱۸ ترکیب تیماری محاسبه شد. سه رژیم حرارتی بعنوان ۳ محیط در نظر گرفته شد و در هر محیط ترکیب فاکتوریل ۳ دوره تلقیح و ۲ زمان خارج کردن کورم با ۳ تکرار تصادفی گردید. بنابراین پس از اطمینان از همگنی واریانس درون ۳ محیط، تجزیه واریانس مرکب بر روی داده ها انجام و میانگین ها از طریق آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) مقایسه شدند. محاسبات آماری بوسیله نرم افزار MINITAB ver. 13.0 انجام شد.

کوچکی و همکاران (۴) با استفاده از داده های مزرعه ای مدلی را برای پیش بینی رفتار گلدهی زعفران در شرایط افزایش درجه حرارت ناشی از تغییر اقلیم ارائه کردند. با توجه به اینکه داده های این تحقیق از آزمایش در محیط کنترل شده بدست آمده است، قابلیت مدل فوق برای برآورد نتایج تحقیق حاضر مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱- تأثیر فاکتورهای آزمایشی بر میانگین برخی خصوصیات نمودی زعفران

طول دوره نمو (روز) ^۱		روز تا ظهور گل ^۲		تعداد جوانه رویشی ^۳	
رژیم حرارتی (C°)					
۲۵/۱۷	۱۳۱/۵ a*	۵۱/۵ a	۵/۲ c	۴/۱ a	۲۵/۱۷
۲۷/۱۹	۱۳۰/۰ a	۳۸/۳ b	۱۱/۲ b	۴/۳ a	۲۷/۱۹
۳۰/۲۱	-	-	۱۷/۸ a	۲/۹ b	۳۰/۲۱
زمان انتقال بنه					
سبز	۱۳۵/۰ a	۵۲/۷ a	۱۳/۷ a	۴/۰ a	۴/۰ a
خشک شده	۱۳۰/۰ a	۴۹/۵ a	۹/۱ b	۳/۵ a	۳/۵ a
دوره تلقیح (روز)					
۷۰	۱۲۳/۲ c	۵۳/۲ a	۱۶/۶ a	۳/۹ a	۳/۹ a
۹۰	۱۳۳/۵ b	۴۳/۰ b	۱۲/۵ b	۴/۶ a	۴/۶ a
۱۲۰	۱۴۵/۶ a	۲۵/۶ c	۵/۱ c	۲/۸ b	۲/۸ b

۱= فاصله زمانی کاشت تا ظهور گل، ۲= فاصله زمانی انتقال به دمای پایین تا ظهور گل، ۳= فاصله آبیاری تا ظهور جوانه رویشی. در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری ندارند ($P < 0.05$).

از بوته های مادری تأثیر قابل توجهی بر رفتار گلدهی زعفران ندارد.

سرعت نمو

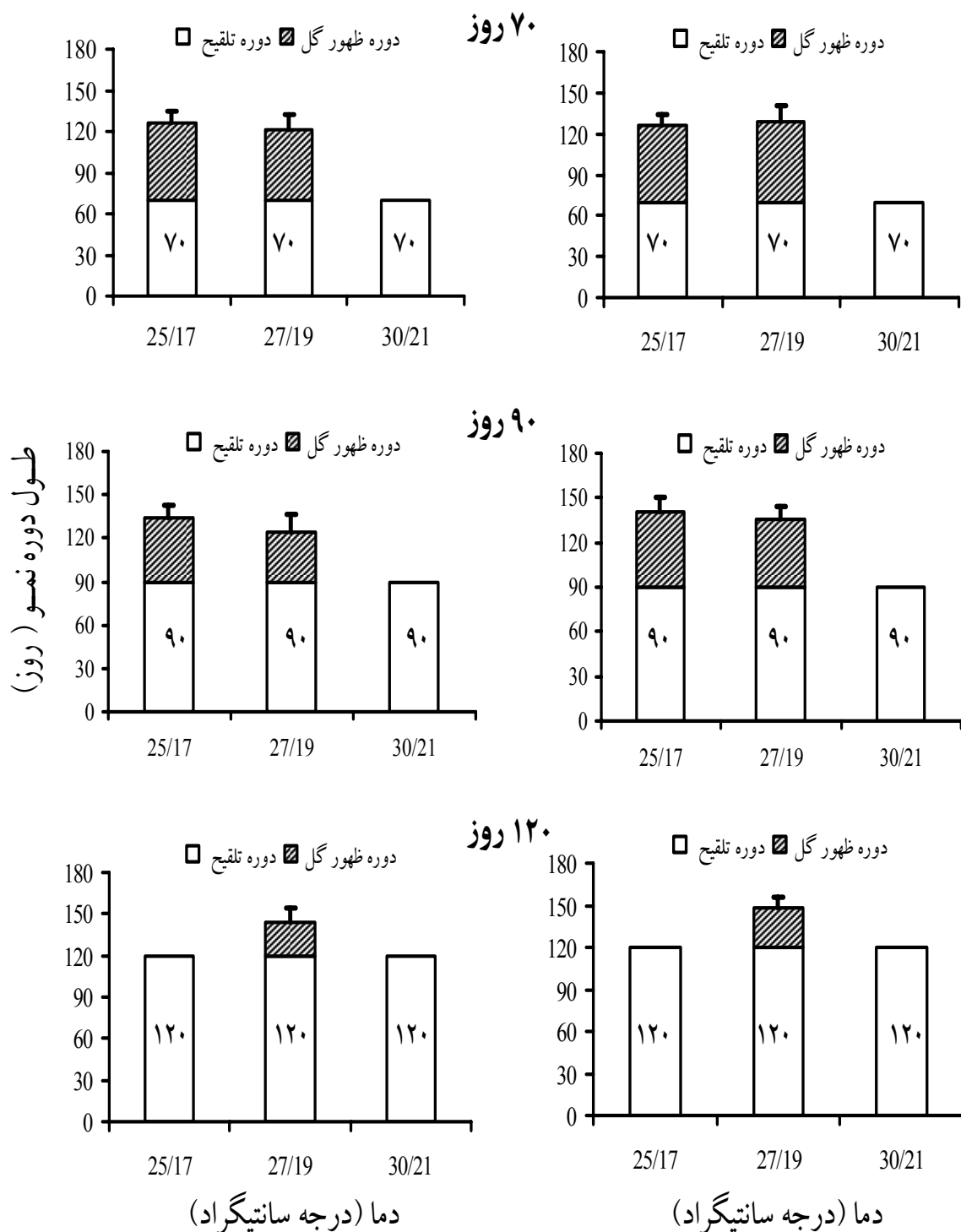
سرعت نمو محاسبه شده یزای دوره کاشت تا ظهور گل در هر دو رژیم حرارتی با افزایش طول دوره تلقیح کاهش یافت. با وجودیکه سرعت نمو در رژیم حرارتی ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد در تمام دوره های تلقیح بالاتر از سایر رژیم های دمایی بود ولی این اختلاف تنها در دوره تلقیح ۱۲۰ روزه معنی دار بود (شکل ۲). یادآوری می شود که در رژیم حرارتی ۳۰/۲۱ درجه سانتیگراد بدون توجه به طول دوره تلقیح، گلدهی صورت نگرفت. مقایسه نتایج ارائه شده در شکل های ۱ و ۲ نشان می دهد که تغییرات سرعت نمو در رژیم حرارتی ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد به دلیل طولانی شدن دوره تلقیح بوده و در واقع دوره ظهور گل در این شرایط کوتاه تر از سایر رژیم های دمایی است.

در مرحله دوم گلدهی زعفران نیز سرعت نمو در دوره های تلقیح ۷۰ و ۹۰ روزه اختلاف معنی داری بین دو رژیم حرارتی نداشت (شکل ۳). با افزایش دوره تلقیح تا ۱۲۰ روز سرعت نمو در رژیم حرارتی ۲۷/۱۹ بصورت خطی افزایش یافت در حالیکه در رژیم دمایی ۲۵/۱۷ درجه سانتیگراد روند معکوسی مشاهده شد. برون یابی داده های آزمایشی نشان داد که حداقل دوره تلقیح برای هر دو رژیم حرارتی در حدود ۳۰ روز می باشد در حالیکه حداکثر طول دوره تلقیح برای دو رژیم دمایی ۲۵/۱۷ و ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد به ترتیب ۱۲۰ و ۱۵۰ روز بدست آمد (شکل ۳).

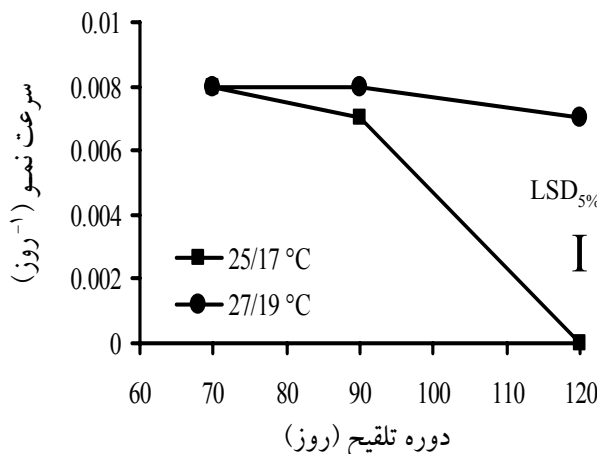
زمان انتقال بنه ها تأثیر معنی داری بر طول دوره نمو و زمان ظهور گلها نداشت اگر چه فاصله بین کاشت تا گلدهی در بنه های انتقال یافته از بوته های خشک در حدود ۵ روز کوتاه تر از بنه هایی بود که از بوته های سبز جدا شده بودند (جدول ۱). البته نتایج مطالعات قبلی (۳۳) نشان داده است که انتقال بنه از بوته های سبز، طول دوره نمو را در حدود ۷ روز کوتاه تر می کند.

بررسی اثرات متقابل بین رژیم های حرارتی و طول دوره تلقیح (شکل ۱) نشان داد که به طور کلی در رژیم دمایی ۳۰/۲۱ درجه سانتیگراد در هیچیک از دوره های تلقیح و در هر دو زمان انتقال بنه، گلدهی انجام نشده است. با افزایش طول دوره تلقیح در تمام رژیم های حرارتی، طول مرحله دوم گلدهی زعفران کاهش یافت. بعلاوه در هر دوره تلقیح نیز با افزایش درجه حرارت طول دوره ظهور گل کاهش نشان داد. البته در این موارد اختلاف معنی داری بین بنه های انتقال یافته از بوته های سبز یا خشک شده مشاهده نشد (شکل ۱). در دوره تلقیح ۱۲۰ روزه گلدهی تنها در رژیم حرارتی ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد مشاهده شد بعلاوه طول دوره دوم گلدهی زعفران در این رژیم حرارتی و با تلقیح ۱۲۰ روزه بطور معنی داری کوتاه تر از سایر رژیم های حرارتی و رمان های تلقیح بود.

این نتایج نشان می دهد که افزایش درجه حرارت به بالاتر از ۲۷ درجه سانتیگراد در طی دوره تلقیح تأثیر جدی بر رفتار گلدهی زعفران داشته و حتی دوره های کوتاه تلقیح (۷۰ روزه) نیز در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد از گلدهی این گیاه جلوگیری خواهد کرد. از سوی دیگر طولانی شدن دوره تلقیح بویژه در دمای بالا، مانعی برای ظهور گل در زعفران می باشد. یز اساس یافته های این تحقیق بنظر می رسد رژیم حرارتی ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد با دوره تلقیح ۹۰ روزه، ترکیب مناسبی برای گلدهی زعفران محسوب شده و زمان انتقال بنه



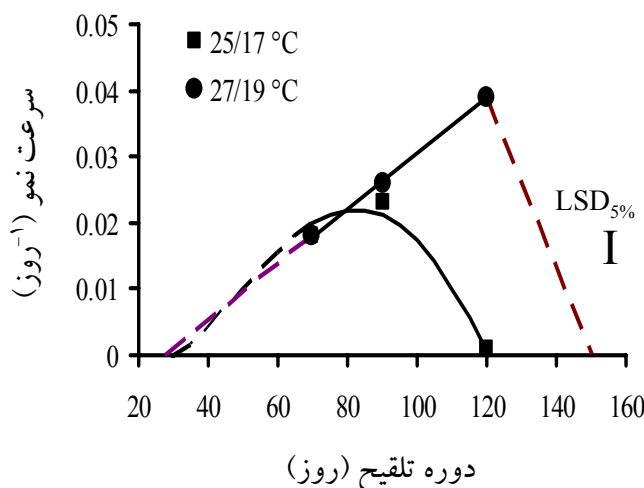
شکل ۱- اثر متقابل رژیم حرارتی و دوره‌های تلقیح ۷۰، ۹۰ و ۱۲۰ روزه بر طول دوره نمو زعفران در بنه‌های انتقال یافته از بوته‌های خشک شده (چپ) و بوته‌های سبز (راست)، خطوط عمودی انحراف معیار میانگین‌ها را نشان می‌دهد



شکل ۲- سرعت نمو یا عکس فاصله زمانی کاشت بنبه تا ظهور گل‌های زعفران در دور رژیم حرارتی و دوره های مختلف تلقیح، نقاط میانگین زمانهای مختلف انتقال بنبه ها می باشند

مزرعه در معرض تغییرات روزانه درجه حرارت می باشند. تأثیر درجه حرارت ناشی از گرمایش جهانی بر فنولوژی گیاهان زراعی در مقایسه با اثرات آن بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد کمتر مورد بررسی قرار گرفته است (۱۳ و ۲۳). به طور کلی افزایش درجه حرارت با تأثیر بر سرعت نمو باعث تغییر طول مراحل فنولوژیکی گیاهان خواهد شد (۷). بررسی ها نشان داده است که افزایش درجه حرارت ناشی از تغییر اقلیم با تأثیر بر سرعت نمو، زمان وقوع مراحل فنولوژیکی گیاهان زراعی (۶) و درختان میوه (۱۵ و ۱۴) را تغییر خواهد داد. به دلیل اهمیت و شدت این تغییرات، منزل (۳۲) فنولوژی گیاهان را نوعی شاخص بیولوژیکی برای بروز تغییر اقلیم نامیده است.

بر اساس یافته های این تحقیق حداکثر سرعت نمو در دوره تلقیح ۰/۰۸۲ روز^{-۱} و در دوره ظهور گل ۰/۰۳۸ روز^{-۱} (شکل ۳) می باشد. کوچکی و همکاران (۴) با استفاده از یک مدل شبیه سازی نمو و بر اساس داده های مزرعه ای حداکثر سرعت نمو زعفران در مراحل اول (دوره تلقیح) و دوم گلدهی (دوره ظهور گل) را به ترتیب ۰/۰۱۱ و ۰/۰۲۸۹ روز^{-۱} برآورد کرده و نشان دادند که سرعت نمو در مرحله اول گلدهی تابعی خطی از درجه حرارت بوده ولی در مرحله دوم گلدهی بصورت غیر خطی از درجه حرارت تبعیت می کند. بنظر می رسد که اختلاف موجود بین نتایج این دو تحقیق به دلیل نوع داده های مورد استفاده باشد زیرا آزمایش حاضر در شرایط کنترل شده با درجه حرارت ثابت در طی دوره نمو اجرا شده در حالیکه داده های



شکل ۳- سرعت نمو در مرحله دوم گلدهی یا عکس فاصله زمانی انتقال به دمای پایین تا ظهور گل‌های زعفران در دور رژیم حرارتی و دوره های مختلف تلقیح، نقاط میانگین زمانهای مختلف انتقال بنبه ها می باشند. خطوط منقطع از طریق برون یابی و با برازش تابع بدست آمده اند.

رشد رویشی

با افزایش درجه حرارت در طی مرحله اول گلدهی زعفران (دوره تلقیح) زمان ظهور جوانه های رویشی به تاخیر افتاد و تعداد این جوانه‌ها نیز بطور معنی داری کاهش یافت (جدول ۱). با وجودیکه زمان انتقال بنه ها بر تعداد جوانه های رویشی تأثیر معنی داری نداشت ولی زمان ظهور این جوانه ها در بنه های انتقال یافته ای بوته‌های خشک در حدود ۴ روز کوتاه تر از بنه های انتقال یافته از بوته‌های سبز بود (جدول ۱). همچنین با افزایش طول دوره تلقیح زمان لازم برای ظهور جوانه های رویشی کاهش یافت در حالیکه تأثیر طول مدت تلقیح بر تعداد این جوانه ها تنها در دوره ۱۲۰ روزه معنی دار بود (جدول ۱).

ارزیابی اثر متقابل رژیم دمایی و طول دوره تلقیح بر خصوصیات رویشی زعفران نشان داد که در هر دو زمان انتقال بنه، با افزایش درجه حرارت در طی دوره تلقیح زمان ظهور جوانه های رویشی طولانی تر شد و تعداد این جوانه ها نیز کاهش یافت بطوریکه در رژیم حرارتی ۳۰/۲۱ درجه سانتیگراد این صفات رویشی در تمام دوره‌های تلقیح بطور معنی داری با سایر رژیم های حرارتی اختلاف داشت (شکل ۴). در رژیم دمایی ۲۵/۱۷ درجه سانتیگراد افزایش دوره تلقیح به ۱۲۰ روز باعث شد که جوانه های رویشی بین ۵ تا ۱۰ روز قبل از انجام اولین آبیاری ظاهر شوند (شکل ۴).

جوانه های رویشی زعفران معمولاً قبل یا همزمان با ظهور گلها ظاهر شده و تعداد آنها بین ۴ تا ۶ و در بنه های بزرگ تا ۱۰ عدد در هر بنه متغیر می باشد (۱۷). تأثیر درجه حرارت بر زمان ظهور و تعداد این جوانه ها بطور دقیق مطالعه نشده است. بررسی های انجام شده در مورد گیاهان پیاز دار نشان داده است که افزایش دما نسبت به دمای بهینه برای رشد رویشی، باعث تاخیر در ظهور و کاهش تعداد جوانه های رویشی خواهد شد (۱۱ و ۲۹). نتایج این تحقیق نیز حاکی از آن است که افزایش درجه حرارت دوره تلقیح به بالاتر از ۲۷ درجه سانتیگراد باعث خواهد شد تا زمان ظهور جوانه های رویشی بطور متوسط ۶ روز به تعویق افتاده و میانگین تعداد آنها نیز به ۳ جوانه در بنه کاهش یابد.

پیش بینی تأثیر افزایش درجه حرارت بر نمو

بر اساس یافته های این تحقیق زمان انتقال بنه تأثیر معنی داری بر سرعت نمو نداشت بنابراین میانگین مقادیر سرعت نمو در دو زمان انتقال بنه جهت ارزیابی قدرت پیش بینی مدل نموی زعفران مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل در هر سه دوره تلقیح قدرت مطلوبی در پیش بینی سرعت نمو در مرحله دوم گلدهی دارد (شکل ۵).

نتایج نشان می دهد که سرعت نمو با افزایش طول دوره تلقیح افزایش یافته یا به عبارت دیگر، زمان ظهور گل تسریع می گردد. نتایج پیش بینی نشان می دهد دمای بهینه برای حصول حداکثر سرعت نمو بین ۱۸ تا ۱۹ درجه سانتیگراد بوده و چنانچه میانگین درجه حرارت در طی مرحله دوم گلدهی زعفران به ۲۱ درجه سانتیگراد افزایش یابد، سرعت نمو صفر شده و گلدهی انجام نخواهد شد بعلاوه حداقل درجه حرارت برای این مرحله بسته به طول دوره تلقیح بین ۱۵ تا ۱۷ درجه سانتیگراد است (شکل ۵).

این نتایج با یافته های کوچکی و همکاران (۴) مبنی بر اینکه درجه حرارت بهینه برای مرحله دوم گلدهی زعفران در حدود ۱۸ درجه سانتیگراد می باشد انطباق دارد. البته این محققین حداکثر دما برای این مرحله از نمو زعفران در حدود ۲۲ درجه سانتیگراد گزارش شده است که با یافته های این تحقیق اندکی اختلاف دارد.

با وجودیکه بنظر می رسد مدل فوق قابلیت خوبی در پیش بینی نمو در شرایط تغییر اقلیم دارد، باید بخاطر داشت که نوسانات درجه حرارت در شرایط تغییر اقلیم غالباً بیش از افزایش آن بر رشد و نمو گیاهان موثر بوده و این مسئله مشکلاتی را در پیش بینی مدل‌های شبیه سازی بوجود خواهد آورد (۳۹).

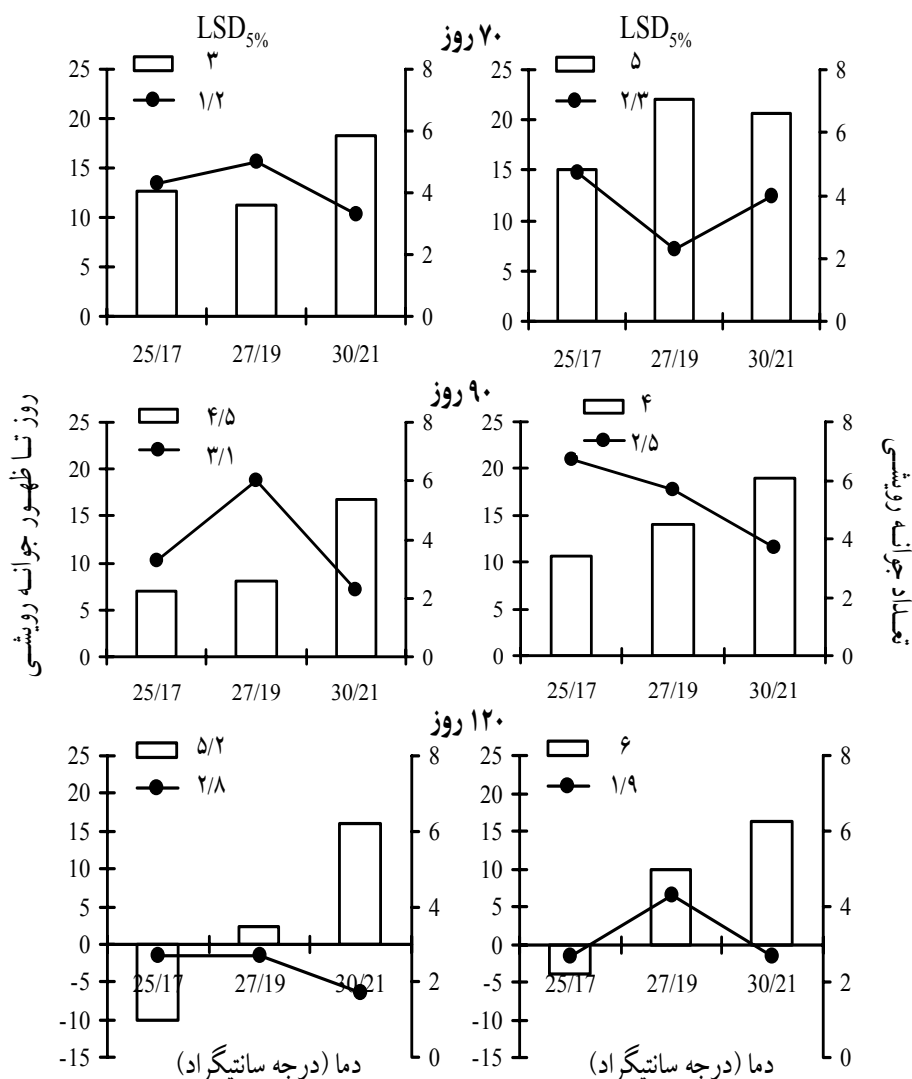
نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد رژیم بهینه برای دوره تلقیح و ظهور گل در زعفران ۲۷/۱۹ درجه سانتیگراد همراه با یک دوره ۹۰ روزه تلقیح است. افزایش درجه حرارت در طی دوره تلقیح و نیز در مرحله ظهور گل، اثرات منفی بر رفتار گلدهی زعفران خواهد داشت بطوریکه با افزایش میانگین درجه حرارت به میزان ۲ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای بهینه، گلدهی به دلیل کاهش سرعت نمو با تاخیر انجام شده و در رژیم دمایی ۳۰/۲۱ درجه سانتیگراد اساساً گلدهی صورت نخواهد گرفت. بعلاوه با افزایش طول دوره ای که بنه ها در معرض درجه حرارت های بالا قرار می گیرند نیز اختلالاتی در گلدهی بروز خواهد کرد و چنانچه دمای بالا بمدت ۱۲۰ روز یا بیشتر ادامه یابد مانع از ظهور گل خواهد شد. بنابراین بنظر می رسد که افزایش درجه حرارت ناشی از تغییر اقلیم که برای ۱۵ سال آینده در مناطق کشت زعفران در حدود ۲ درجه سانتیگراد پیش بینی شده است (۲۶) تأثیر قابل ملاحظه ای بر سرعت نمو و زمان ظهور گل در زعفران داشته باشد.

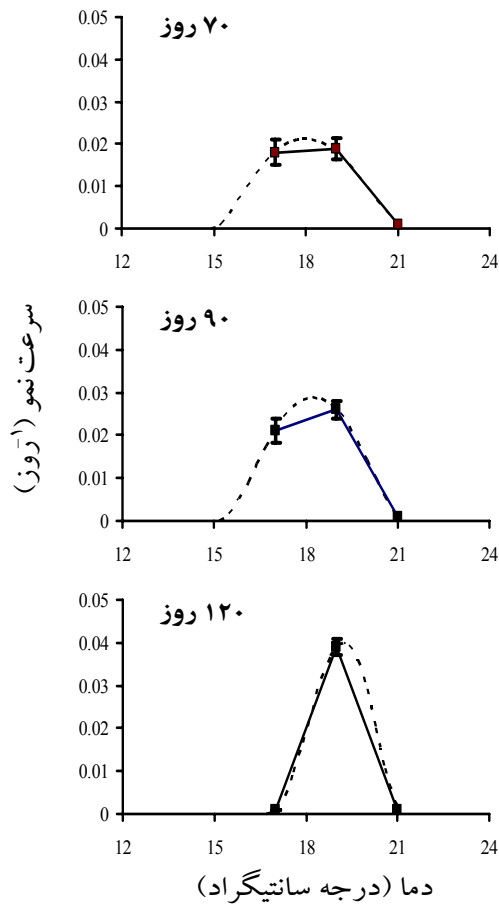
از سوی دیگر نتایج برخی مطالعات (۹ و ۳۸) حاکی از آن است که تغییر اقلیم باعث شروع زودتر فصل بهار شده و این امر تغییراتی را در فنولوژی گیاهان ایجاد خواهد کرد. بروز چنین پدیده ای در مناطق کشت زعفران باعث کوتاه تر شدن دوره رشد رویشی و طولانی شدن دوره تلقیح در درجه حرارت بالا شده و به نوبه خود رشد و نمو زعفران

آن است که گلدهی در اغلب مناطق تولید زعفران به تأخیر افتاده و در صورت گرمایش بیشتر، بطور کلی گلدهی انجام نخواهد شد. بنظر می‌رسد با بروز چنین تغییراتی نوعی جابجایی در مناطق کشت زعفران صورت گرفته و در بخش‌های شمالی تر خراسان پتانسیل اقلیمی لازم برای نمو این گیاه فراهم شود. مطالعات بیشتر در این زمینه مستلزم تکمیل مدل فعلی پیش بینی نمو زعفران و ارزیابی قابلیت مدل بر اساس زمان حرارتی (ترمال) و نهایتاً تعیین مناطق مستعد استان خراسان برای کشت این محصول در شرایط تغییر اقلیم است.

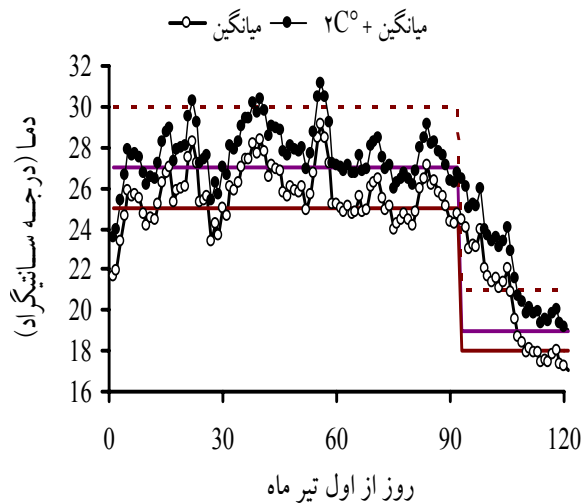
را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در شکل ۶ میانگین دراز مدت درجه حرارت روزانه در مناطق اصلی کشت زعفران (شهرستانهای تربت حیدریه، گناباد، قاین و بیرجند) و میانگین با ۲ درجه سانتیگراد افزایش دما ارائه و با درجه حرارت‌های بهینه و حداکثر برای گلدهی که بر اساس یافته‌های این تحقیق و مطالعات قبلی بدست آمده مقایسه شده است. این نتایج بوضوح نشان می‌دهد که در صورت بروز تغییرات اقلیمی، درجه حرارت در مناطق تولید زعفران از دمای بهینه بالاتر رفته و به دمای حداکثر نزدیک خواهد شد. پیش بینی‌های مدل موید



شکل ۴- اثر متقابل رژیم حرارتی و دوره‌های تلقیح ۷۰، ۹۰ و ۱۲۰ روزه بر زمان ظهور و تعداد جوانه‌های رویشی زعفران در بنه‌های انتقال یافته از بوته‌های خشک شده (چپ) و بوته‌های سبز (راست). زمان ظهور جوانه‌های رویشی بر حسب روز از زمان آبیاری تعیین شده و مقادیر منفی نشان می‌دهد که جوانه‌های رویشی پیش از انجام آبیاری ظاهر شده‌اند.



شکل ۵- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده (خطوط منقطع) سرعت نمو زعفران در درجه حرارت های مختلف و دوره های تلقیح ۷۰، ۹۰ و ۱۲۰ روزه. پیش بینی برای مرحله دوم گلدهی زعفران و بوسیله مدلی انجام شده که بر اساس داده های مزرعه ای تهیه شده است. خطوط عمودی انحراف معیار میانگین سرعت های اندازه گیری شده نمو هستند.



شکل ۶- روند دراز مدت (۱۲ ساله) تغییرات میانگین درجه حرارت روزانه و افزایش این میانگین به میزان ۲ درجه سانتیگراد در مناطق اصلی کشت زعفران در استان خراسان. خط منقطع دمای حداکثر برای مراحل گلدهی زعفران را نشان داده و خطوط پیوسته بیانگر دمای بهینه برای مراحل گلدهی زعفران بر اساس یافته های این تحقیق و نتایج سایر محققین (۳۴) می باشد.

قدردانی

نویسندگان از مدیریت مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد برای تامین مواد آزمایشی این تحقیق کمال تشکر را دارند.

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد (طرح پژوهش) تامین گردید که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- ۱- حسینی، م.، ع.، ملافیلابی و م.، نصیری محلاتی. ۱۳۸۷. اثر نوسانات درازمدت درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.). پژوهشهای زراعی ایران، (۱): ۶: ۷۹-۸۸.
- ۲- صادقی، ب. ۱۳۷۶. تأثیر آبیاری تابستانه بر عملکرد زعفران. نشریات سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران. مرکز خراسان.
- ۳- کوچکی، ع. و م.، نصیری. ۱۳۸۷. تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO₂ بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. پژوهشهای زراعی ایران، (۱): ۶: ۱۳۹-۱۵۳.
- ۴- کوچکی ع.، م. نصیری محلاتی، ا. علیزاده، م. گنجعلی. ۱۳۸۸. مدلسازی تأثیر تغییر اقلیم بر رفتار گلدهی زعفران. پژوهشهای زراعی ایران، (۲): ۷: ۵۸۳-۵۹۴.
- 5- Abdullaev, F.I., and J.J., Espinosa-Aguirre. 2004. Biomedical properties of saffron and its potential use in cancer therapy and chemoprevention trials. *Cancer Detect.Prev.* 28, 426-432.
- 6- Andresen, J.A., Alagarswamy, G., Rotz, C.A., Ritchie, J.T., and A.W., LeBaron. 2001. Weather impacts on maize, soybean, and alfalfa production in the Great Lakes region 1895-1996. *Agronomy Journal*, 93: 1059-1070.
- 7- Atkinson, D. and J. R. Porter. 1996. Temperature, plant development and crop yields. *Trends in Plant Sciences*, 4: 119-124.
- 8- Azizbekova, N.S.H., and E.L., Milyaeva. 1999. Saffron cultivation in Azerbaijan. In: Negbi, M. (Ed.), *Saffron: Crocus sativus* L. Harwood Academic Publishers, Australia, pp. 63-71.
- 9- Beaubien, E., and B., Freeland. 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *Int. J. Biometeorol.* 44, 53-59.
- 10- Behdani, M.A., M., Nassiri Mahallati and A. Koocheki. 2008. Evaluation of irrigation management of saffron at agroecosystem scale in dry regions of Iran. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(1): 22-25.
- 11- Benschop, M. 1993. *Crocus*. In: De Hertog, A., Le Nard, M. (Eds.), *The Physiology of Flower Bulbs*. Elsevier, Amsterdam, (Chapter 19), pp. 257-283.
- 12- Bootsma, A., 1994. Long-term (100 years) climate trends for agriculture at selected locations in Canada. *Climatic Change*, 26: 65-88.
- 13- Chmielewski, F.M., and T., Rötzer, 2002. Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Clim. Res.* 19 (1), 257-264.
- 14- Chmielewski, F.M., A., Müller, and E., Bruns, 2003. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117: 112-123.
- 15- Defila, C., and B., Clot, 2001. Phytophenological trends in Switzerland. *Int. J. Biometeorol.* 45, 203-207.
- 16- Ehsanzadogh, P., Yadollahi, A.A., and A.N.M., Maibodi, 2004. Productivity, growth and quality attributes of 10 Iranian saffron accessions under climatic conditions of Chahar-Mahal Bakhtrazi, Central Iran. In: Fernandez, J.A., Abdullaev, F. (Eds.),
- 17- Farooq, S. and K. Koul, 1983. Changes in gibberellins like activity in corms of saffron plant (*Crocus sativus* L.) during dormancy and sprouting. *Journal of Plant Biochemistry*, 178: 685-691.
- 18- Fernandez, J.A., 2004. Biology, biotechnology and biomedicine of saffron. *Recent Res. Dev. Plant Sci.* 2, 127-159.
- 19- Fulu, T., Y., Masayuki, X., Yinlong, H., Yousay and Z., Zhao, 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000. *Agric. For. Meteorol.* 138: 82-92.
- 20- Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L., and G., Ruberto, 2008. Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 95-112.
- 21- Gresta, F., G., Avola, G.M., Lombardo L. Siracusa, and G. Ruberto. 2009. Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by environmental conditions. *Scientia Horticulturae* 119 320-324
- 22- Heino, R., Brázdil, R., Førland, E., Tuomenvirta, H., Alexandersson, H., Beniston, M., Pfister, C., Rebetez, M., Rosenhagen, G., Rösner, S., and J., Wibig. 1999. Progress in the study of climatic extremes in northern and central Europe. *Climatic Change*, 42: 151-181.
- 23- Horie, T., J.T., Baskar and H., Nakagawa. 2000. Crop ecosystem responses to climate change: Rice. In: Reddy,

- K.R., Hodges, H.F. (Eds.), Climate change and Global crop productivity. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, pp. 81–106.
- 24- Juana, J.A., H.L., Cícolesb, R.M., Munozb, and M.R., Picornella. 2009. Yield and yield components of saffron under different cropping systems. *Industrial Crops and Products* 30: 212–219.
- 25- Kafi, M., M.H. Rashed, A. Koocheki and A. Mollafilabi. 2002. Saffron (*Crocus sativus* L.), production and processing. Center of excellence for agronomy, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- 26- Koocheki, A., Nassiri, M., Kamali, G.A., and H. Shahandeh. 2006. Potential impacts of climate change on agroclimatic indicators in Iran. *Arid land Research and Management*, 20: 245-259.
- 27- Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H., and R. Ghorbani. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Climate Research*, 30: 247-253.
- 28- Koul, K.K., S., Farooq. 1984. Growth and differentiation in the shoot apical meristem of the saffron plant (*Crocus sativus* L.). *Journal of Indian Botanical Society*, 63: 153–160.
- 29- Le Nard, M., A., De Hertog, 1993. Bulb growth, development and flowering. In: De Hertog, A., Le Nard, M. (Eds.), *The Physiology of Flower Bulbs*. Elsevier, Amsterdam, (Chapter 4), pp. 29–43.
- 30- Lobell, D.B., J.I., Ortiz-Monasterio, G.P., Asner, P.A., Matson, R.L., Naylor and W.P., Falcon. 2005. Analysis of wheat yield and climatic trends in Mexico. *Field Crops Research*, 94: 250–256
- 31- Magesh, V., Singh, J.P.V., Selvendiran, K., Ekambaram, G., and D., Sakthisekaran, 2006. Antitumour activity of crocetin in accordance to tumor incidence, antioxidant status, drug metabolizing enzymes and histopathological studies. *Mol. Cell. Biochem.* 287 (1–2), 127–135.
- 32- Menzel, A. 2000. Phenology as global change bio-indicator. International Conference on Progress in Phenology Monitoring, Data Analysis, and Global Change Impacts, Freising, Germany, Abstract booklet, p:74-75.
- 33- Molina, R.V., M. Valero, Y. Navarro, J.L. Guardiola, A. Garcí'a-Luis. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.) *Scientia Horticulturae* 103: 361–379.
- 34- Molina, R.V., Garcia-Luis, A., Coll, V., Ferrer, C., and M., Valero, 2004. Flower formation in the saffron *Crocus sativus* L.). The role of temperature. *Acta Horticulture* 650, 39–47.
- 35- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Garcí'aLuis, A., and J.L., Guardiola. 2005. Low temperature storage of corms extends the flowering season of saffron (*Crocus sativus* L.). *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 80, 319–326.
- 36- Moonen, A.C., L., Ercoli, M., Mariotti, and A., Masoni. 2002. Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111: 13–27.
- 37- Plummer, N., Salinger, M.J., Nicholls, N., Suppiah, R., Hennessy, K.J., Leighton, R.M., Trewin, B., Page, C.M., and M.J., Lough. 1999. Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century. *Climatic Change*, 42: 183–202.
- 38- Schwarz, M.D., and B.E., Reiter. 2000. Changes in North American spring. *Int. J. Biometeorol.* 20, 929–932.
- 39- Semenov, M.A. and J.R., Porter. 1995. Climatic variability and the modeling of crop yields. *Agricultural and Forest Meteorology*, 73: 265-283.
- 40- Wilkins, H.F. 1985. *Crocus: Crocus sativus*. In: Halevy, A.H. (Ed.), *Handbook of Flowering*, vol. 2. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 350–355.
- 41- Zhai, P., Sun, A., Ren, F., Liu, X., Gao, B., abd Q., Zhang. 1999. Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*, 42: 203–218.