نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴ ص: ۱۲-۱

Saffron Agronomy & Technology
Vol. 3, No. 1, Spring 2015, P. 1-12

ارزیابی عملکرد و شناسایی مناطق مستعد کشت زعفران در استان خراسان رضوی بر اساس شاخص‌های دمایی

معین توسن[۱]، امین علیزاده[۲*]، حسین انصاری[۳] و پرویز رضوانی‌مقدم[۴]

تاریخ دریافت: ٤ دی ۱۳۹۳ **تاریخ پذیرش:** ۱۵ اسفند ۱۳۹۳

چکیده

در بین محصولات کشاورزی، زعفران (*Crocus sativus* L.) ازجمله ارزشمندترین محصولاتی است که با توجه به ویژگی‌های خاص خود، امکان گسترش تولید و صادرات آن وجود دارد. در بیشتر مناطق کشور به علت نیاز آبی کم این محصول و سازگاری مناسب آن با شرایط محیطی، امکان کشت این گیاه وجود دارد. لذا در سال‌های اخیر سطح زیر کشت زعفران به‌خصوص در استان خراسان رضوی افزایش‌یافته است. در پژوهش حاضر آمار و اطلاعات ماهیانه درجه حرارت حداقل، درجه حرارت متوسط، درجه حرارت حداکثر و نیز اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز در شهرستان‌های دارای کشت زعفران در استان خراسان رضوی در یک دوره ۲۰ ساله به همراه عملکرد زعفران در این دوره، جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار SPSS معادلات رگرسیون برآورد گردید. سپس با استفاده از معادلات به‌دست‌آمده و نرم‌افزار ArcGIS به پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت زعفران پرداخته شد. نتایج نشان داد عملکرد زعفران به‌شدت تحت تأثیر درجه حرارت بوده، اما این تأثیر بسته به اقلیم هر منطقه متفاوت است. همچنین بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی ایجادشده بر اساس معادلات رگرسیونی ایجاد شده نشان داد که مناطق جنوبی استان ازجمله شهرستان گناباد دارای بهترین موقعیت از لحاظ پارامترهای مورد بررسی برای کشت زعفران بوده (عملکرد ۴/۸۸-۴/۲۱ کیلوگرم در هکتار) و این عملکرد از جنوب به سمت نواحی شمالی استان روندی کاهشی داشت؛ به‌طوری‌که شهرستان‌های مرکزی استان مانند تربت‌حیدریه، کاشمر و خواف دارای عملکرد متوسط (۴/۲۱-۳/۵۳ کیلوگرم در هکتار) و شهرستان‌های شمالی مانند قوچان دارای عملکرد نسبتاً ضعیف (۳/۵۳-۲/۸۵ کیلوگرم در هکتار) و تقریباً معادل نصف مناطق جنوبی استان بود. همچنین مطابقت این نقشه‌ها با نقشه پهنه‌بندی عملکرد واقعی زعفران همبستگی بالای عملکرد زعفران با عوامل اقلیمی، به‌خصوص پارامترهای دمایی را نشان داد.

کلمات کلیدی: اقلیم، پهنه‌بندی، درجه حرارت، رگرسیون، عملکرد زعفران.

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) به‌عنوان گران‌بهاترین محصول کشاورزی و دارویی جهان (Sepaskhah & Kamgar-Haghighi, 2009; Moayedi Shahraki et al., 2010)، ازجمله گیاهانی است که با توجه به سازگاری در برابر خشکی، نقش قابل‌توجهی در وضعیت اقتصادی و اجتماعی مناطق خشک و نیمه‌خشک ازجمله خراسان رضوی دارد؛ به‌طوری‌که سطح زیر کشت این گیاه در استان خراسان رضوی معادل ۵۷۲۷۵ بوده و میزان عملکرد آن نیز معادل ۳/۴ کیلوگرم در هکتار است. کل میزان تولید زعفران در استان خراسان رضوی نیز حدود ۲۰ تن برآورد شده است (Agriculture Jihad, 2011). بدیهی است با افزایش تولید زعفران، بالا بردن میزان بهره‌وری و همچنین افزایش توسعه صادرات این گیاه، می‌توان درآمدهای ارزی قابل‌اطمینانی را برای کشور ایجاد نمود (Sadeghi, 2012).

آگاهی از چگونگی تناسب و انطباق فعالیت‌های کشاورزی هر منطقه با شرایط آب و هوایی آن لازمه انجام هرگونه فعالیت

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲و۳- استاد و دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۴- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
(*- نویسنده مسئول: alizadeh@gmail.com)

کشاورزی است. از این‌رو، تأثیر عوامل آب و هوایی بر کشاورزی از سایر فعالیت‌ها بیشتر بوده و به همین دلیل شناخت روابط متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصولات زراعی، اهمیت و ارزش اقتصادی و اجتماعی بالایی دارد (Koozehgaran et al., 2011). در این ارتباط، علوی‌زاده و همکاران (Alavi Zadeh et al., 2013) اظهار داشتند که زعفران در طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی، شرایط دمایی و رطوبتی متغیر قابل‌کشت است. وی بهترین آب‌وهوا را برای رشد زعفران، آب‌وهوای گرم و نیمه استوایی معرفی کرد. فرجزاده و تکلوبیقاش (Faraj Zadeh & Teklobighash, 2001) جهت تعیین نواحی مستعد کشت زعفران در دشت نیشابور با استفاده از نقشه‌های سطوح ارتفاعی، شیب، قابلیت اراضی، عمق خاک، اقدام به شناسایی دسترسی به آب‌های سطحی و زیرزمینی و آستانه‌های دمایی مؤثر در کشت زعفران در دشت نیشابور در محیط GIS نمودند. نتایج این محققین نشان داد که ۲۱۴۶ کیلومترمربع از اراضی دشت دارای استعداد بسیار خوب برای توسعه کشت زعفران می‌باشند که در حال حاضر کاربری این اراضی به کشت دیم، کشت آبی، مراتع نیمه متراکم و مراتع متراکم اختصاص دارد. این محققین اظهار داشتند که با تغییر این اراضی به کاربری کشت زعفران می‌توان توسعه اقتصادی و ارزش‌افزوده را برای این منطقه رقم زد.

در کنار عواملی مانند سن مزرعه، روش یا تراکم کاشت، اندازه بنه و یا آبیاری، درجه حرارت محیطی از مهم‌ترین عوامل در گل‌انگیزی زعفران می‌باشد (Molina et al., 2004; Gresta et al., 2005; Molina et al., 2005). به‌عبارت‌دیگر، گل انگیزی و رفتار گلدهی زعفران می‌تواند به‌شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی منطقه کشت قرار گیرد (Koul & Farooq, 1984; Benschop, 1993; Kafi et al., 2002). بسته به منطقه کشت، درجه‌حرارت مطلوب برای رشد زعفران بین ۲۳ تا ۲۷ درجه سلسیوس گزارش شده است (Molina et al., 2005). مطالعات گذشته نشان داده است که گلدهی زعفران اساساً توسط درجه حرارت کنترل می‌شود، بنابراین درجه حرارت معیار اصلی برای تخمین زمان گلدهی در این گیاه است (Kafi et al., 2002).

کامیابی و همکاران (Kamyabi et al., 2014) با هدف مشخص کردن معیارهای اقلیمی و شناخت رتبه عوامل مؤثر بر کشت زعفران و ارزیابی تأثیر آن در شهرستان رشتخوار از توابع استان خراسان رضوی و نیز اولویت‌بندی نواحی روستایی دهستان‌های منطقه به‌منظور کشت زعفران از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده نمودند. نتایج تحقیق نشان داد، در میان عوامل محیطی، بارش و دما بیشترین تأثیر را در کشت زعفران داشته‌اند.

در این راستا، کوزه‌گران و همکاران (Koozehgaran et al., 2014) با بررسی اثر پارامترهای هواشناسی (درجه حرارت حداقل، حداکثر و متوسط) بر عملکرد زعفران و پهنه‌بندی نتایج حاصل با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، به تعیین مناطق مساعد کشت زعفران در نواحی مختلف استان خراسان جنوبی پرداختند. نتایج کار این محققین نشان داد که اکثر مناطق استان در شرایط مناسب یا نیمه مناسب قرار دارند؛ به‌طوری‌که مناطق شمال و شمال شرقی استان دارای بهترین موقعیت از لحاظ درجه حرارت‌های حداقل، میانگین و حداکثر برای کشت زعفران بوده، مناطق مرکزی استان نیمه مستعد و مناطق جنوب و جنوب غربی استان نامستعد می‌باشند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2011) در تحقیقی به‌منظور ارزیابی شرایط اقلیمی برای کشت محصول زعفران در شهرستان مرودشت، از وضعیت دمای حداقل، میانگین و نوسانات روزانه دما به‌صورت روزانه در یک دوره آماری۲۰ساله (۱۳۸۴-۱۳۶۵) با توجه به نیازهای گیاه زعفران در شهرستان مرودشت استفاده و این شرایط با شهرستان‌های زعفران خیز ایران مقایسه نمودند. بر اساس نتایج، ازنظر دمایی و اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز، شهرستان مرودشت با شهرستان‌های زعفران خیز ایران مانند قائن و تربت‌حیدریه به‌طور نسبی دارای شباهت بوده و از این نظر برای کشت زعفران محدودیتی وجود ندارد.

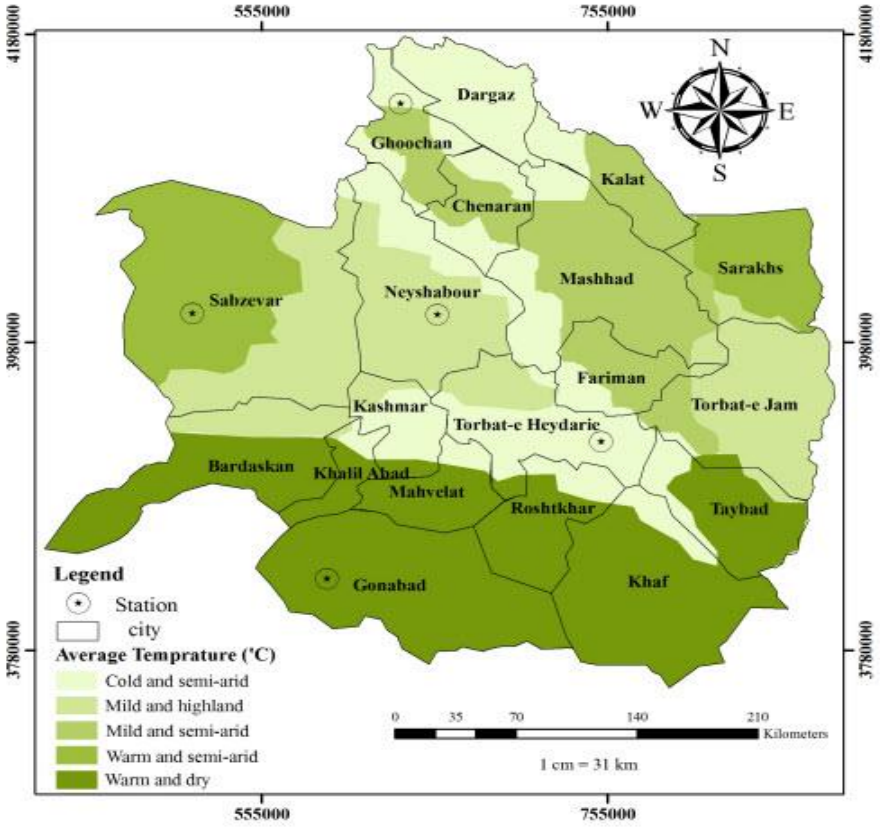
با بررسی اثر پارامترهای هواشناسی بر عملکرد زعفران و تعیین مناطق مساعد کشت زعفران بر اساس این پارامترها می‌توان در راستای توسعه کشاورزی و اقتصادی در مناطق مستعد کشت زعفران نقش مؤثری ایفا نمود. این آزمایش باهدف ارزیابی عملکرد زعفران در شهرستان‌های استان خراسان رضوی تحت تأثیر پارامترهای دمایی انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه استان خراسان رضوی با مساحتی حدود ۱۴۴۸۰۳ کیلومترمربع است که در شمال شرقی کشور ایران قرارگرفته و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن جزء اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. عوامل مختلفی از قبیل کوه

های مرتفع، مناطق پست کویری، دوری از دریاها و همچنین برخورد جبهه‌های مختلف آب و هوایی که از غرب، شمال، شمال غرب، شمال شرق و جنوب وارد منطقه می‌شوند، سبب تنوع و گوناگونی آب‌وهوای استان می‌شود. به همین دلیل در بخش کوهستانی شمال خراسان رضوی، زمستان‌ها سرد و طولانی و تابستان‌ها گرم و معتدل بوده و در منطقه جنوبی استان خصوصاً در نزدیکی کویر، آب‌وهوای خشک حاکم است (Moafi Madani et al., 2013).

مناطق کوهستانی و دشت‌های استان خراسان رضوی به ترتیب دارای وسعتی در حدود ۵۶۷۲۳ و ۶۰۲۵۱ کیلومترمربع هستند. میانگین سالانه رطوبت نسبی استان ۴۶ درصد بوده و مقدار آن از شمال به جنوب استان کاهش می‌یابد (Iran Meteorological Organization, 2013). میانگین بارندگی در سطح استان نیز ۲۰۸ میلی‌متر بوده و بیشتر این میزان بارش در زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد. مناطق پرباران در نواحی مرتفع قرار دارند که از شمال به سمت جنوب، میزان بارش کاهش می‌یابد (Fallah Ghalhary et al., 2008). با این‌وجود، توزیع ماهیانه بارندگی در نواحی مختلف کشت زعفران تقریباً ثابت است. به‌طوری‌که، حداکثر بارندگی ماهیانه در ماه‌های اسفند و فروردین و حداقل آن در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور اتفاق می‌افتد (Hosseini et al., 2008). شکل ۱ پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی و شکل ۲ تغییرات شاخص‌های دمایی را در این استان نشان می‌دهد.



شکل ۱- پهنه‌بندی بر اساس تغییرات اقلیمی در استان خراسان رضوی و موقعیت ایستگاه‌های موردمطالعه (اسماعیلی و همکاران، ۹۱-۱۳۹۰)

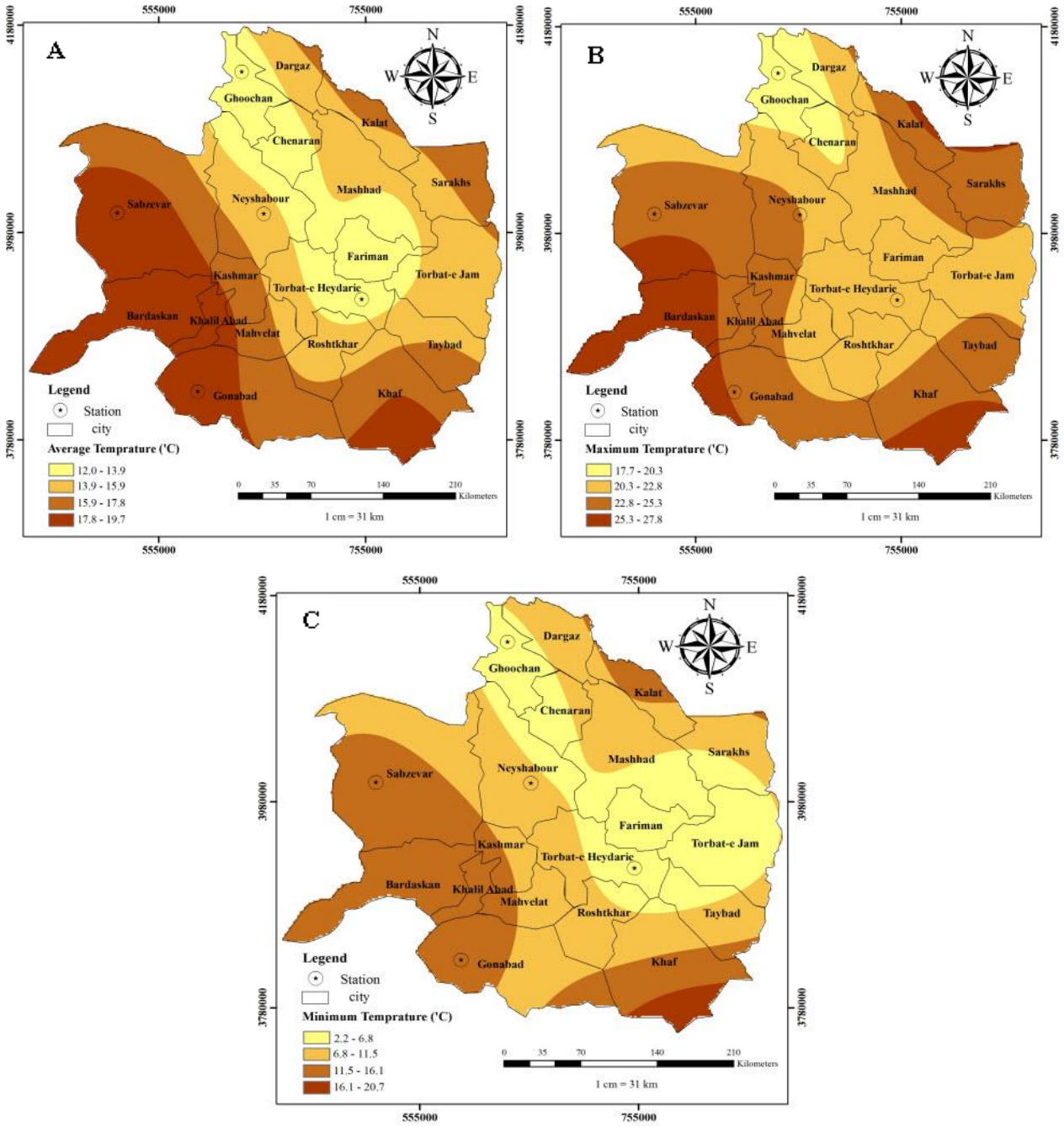
Figure 1- The zonation based on climate changes in Khorasan Razavi Province and position of experimental stations (Esmaili et al., 2011-2012).

در این تحقیق از آمار و اطلاعات ۲۰ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی استفاده شد که این آمار از سازمان آب-منطقه‌ای خراسان رضوی دریافت گردید. این داده‌ها شامل ۴ پارامتر به شرح زیر بود: ۱- درجه حرارت حداقل، ۲- درجه حرارت متوسط، ۳- درجه حرارت حداکثر و ۴- اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز. شکل-های ۱ و ۲ موقعیت ایستگاه‌های منتخب استان و شکل ۳ تغییرات ماهانه پارامترهای مورد بررسی را در این شهرها نشان می‌دهد.

در این مطالعه عملکرد گل زعفران (برحسب کیلوگرم در هکتار)

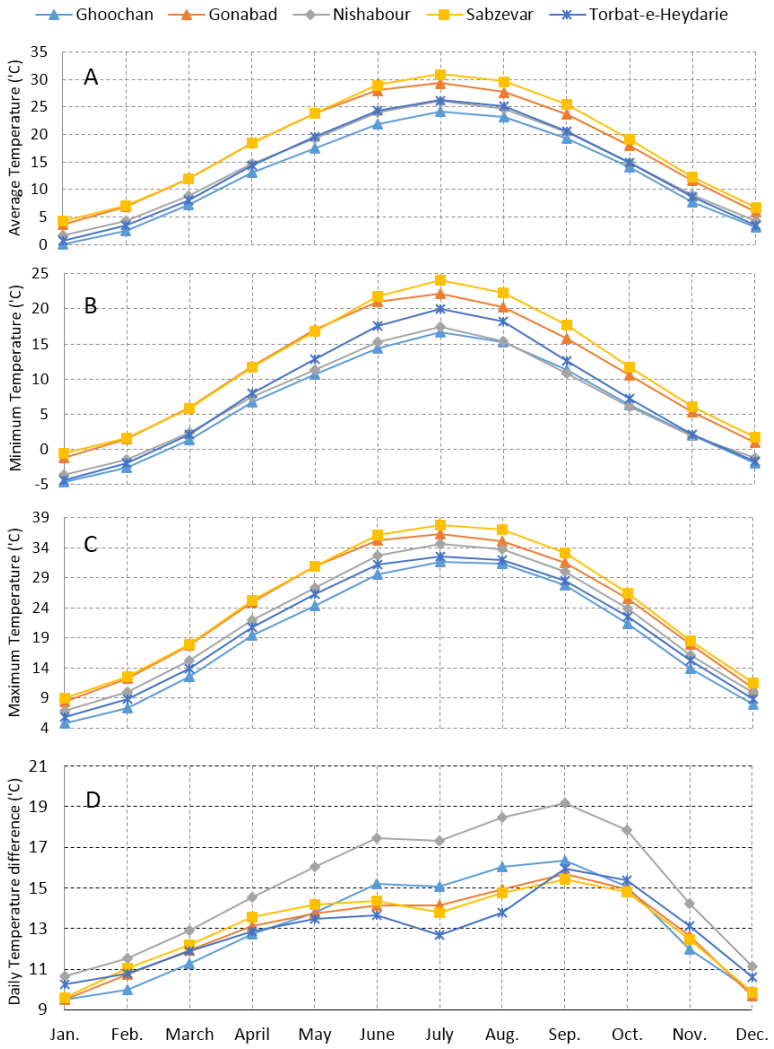
در طی دوره ۲۰ ساله از ادارات جهاد کشاورزی در شهرستان‌های مورد مطالعه دریافت شد. سپس با توجه بـه طـول دوره آمـاری ایسـتگاه‌ها، دوره مشترک آماری انتخاب و ایسـتگاه‌های بـا داده‌هـای محـدود یـا بسیار ناقص حذف گردید.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتـدا با استفاده از روش‌هـای رگرسیون چند متغیـره خطی، اثـر متغیرهـای مسـتقل (عوامل اقلیمی) به‌صورت همزمان بر متغیر وابسته بررسی شد. برای این‌کار داده‌های منتخب در دوره مشترک آماری مورد بازبینی قرار گرفت، تحلیل داده‌های پـرت و بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها انجام و سپس مـدل‌سـازی از طریق نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.



شکل ۲- درجه حرارت متوسط (A)، درجه حرارت حداکثر (B) و درجه حرارت حداقل (C) در ایستگاه‌های موردمطالعه استان خراسان رضوی

Figure 2- Average temperature (A), maximum temperature (B) and minimum temperature (C) in experimental stations of Khorasan Razavi province.



شکل ۳- وضعیت درجه حرارت متوسط (A)، درجه حرارت حداکثر (B)، درجه حرارت حداقل (C) و اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز (D) در شهرهای موردمطالعه

Figure 3- The status of average temperature (A), maximum temperature (B), minimum temperature (C) and diurnal temperature variation (D) in experimental cities.

روش رگرسیونی مورداستفاده در این مطالعه، رگرسیون گام‌به‌گام بود، تا تنها متغیرهای اقلیمی دارای اثر معنی‌دار بر روی عملکرد زعفران وارد مدل شده و سایر متغیرها به‌صورت مرحله‌ای (گام به گام) حذف گردید تا رابطه بین عملکرد و پارامترهای مناسب‌تر ایجاد شود.

برای رسم نقشه‌های رقومی پهنه‌بندی پارامترهای هواشناسی از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 و جهت درون‌یابی پارامترهای هواشناسی، مشابه تحقیقات سایر محققین از روش درون‌یابی Spline استفاده شد (Hartkamp et al., 1999; Tait et al., 2006). از مدل به‌دست آمده بر اساس روابط رگرسیونی ایجادشده روی عوامل اقلیمی می‌توان جهت پیش‌بینی عملکرد بهینه و تعیین مناطق مستعد کشت زعفران در استان خراسان رضوی به‌خصوص در مورد مناطقی که تاکنون زیر کشت زعفران نبوده‌اند، اقدام نمود. همچنین جهت بررسی صحت (اعتبارسنجی) مدل ایجاد شده پیش‌بینی عملکرد بر اساس داده‌های اقلیمی، عملکرد واقعی زعفران در استان پهنه‌بندی شد. جهت افزایش دقت پهنه‌بندی، علاوه بر میانگین عملکرد ۲۰ ساله زعفران در شهرهای داخل استان خراسان رضوی، از چند شهر خارج استان نیز استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج رگرسیون گام به گام عملکرد بر اساس چهار پارامتر درجه-حرارت حداقل، درجه‌حرارت متوسط، درجه‌حرارت حداکثر و اختلاف درجه‌حرارت شبانه‌روز در جداول ۱ تا ۴ مشاهده می‌گردد.

قوچان

بر طبق طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه؛ کل استان خراسان رضوی دارای اقلیم سرد و خشک بوده و تنها شهرستان قوچان دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک است. در بین ایستگاه‌های موردمطالعه استان، شهرستان قوچان با میانگین رطوبت نسبی سالانه معادل ۵۵ درصد، مرطوب‌ترین شهر استان می‌باشد (Iran Meteorological Organization, 2013). مطابق نتایج رگرسیون گام‌به‌گام در این شهرستان، درجه‌حرارت حداکثر و درجه حرارت متوسط در آبان‌ماه به-عنوان مهم‌ترین ماه مؤثر بر عملکرد زعفران نشان داده‌شده است (جدول ۱ و ۲). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) نشان دادند گلدهی زعفران در استان خراسان از اواسط مهرماه آغازشده و مدت آن در دمای بهینه، ۳۴ روز و حداکثر ۵۰ روز است. دمای بهینه نیز در محدوده ۱۶ تا ۱۹/۵ و تا حداکثر ۲۲/۵ درجه است. مطابق شکل ۳ متوسط و حداکثر درجه حرارت ماهانه شهرستان قوچان کمتر از ۱۶ درجه بوده که می‌تواند اثر قابل توجهی بر کاهش عملکرد در این شهرستان داشته باشد.

به‌طورکلی، گلدهی زعفران رابطه مستقیمی با درجه حرارت دارد و هرچه دما در پاییز زودتر کاهش یابد، گلدهی نیز زودتر اتفاق می‌افتد. در این ارتباط، علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2009) نیز دمای پایین را بر گل‌دهی زعفران مؤثر دانسته‌اند. مکانیسم عمل گلدهی در زعفران به صورتی است که هرچه افت درجه حرارت در شب بیشتر باشد، روز بعد تعداد گل بیشتری ظاهر خواهد شد و مناطقی که درجه حرارت در آن زودتر پایین می‌آید، به همان نسبت گلدهی در آن‌ها زودتر اتفاق می‌افتد (Koozehgaran et al., 2011).

تربت‌حیدریه، سبزوار و نیشابور

به‌دلیل شباهت نسبی شرایط آب و هوایی در شهرستان‌های تربت‌حیدریه، سبزوار و نیشابور (شکل‌های ۱ و ۲)، ارائه نتایج در این شهرستان‌ها به‌طور مشترک بیان شد. در رابطه با شهرستان تربت‌حیدریه، مهم‌ترین ماه‌ها از نظر تأثیر بر عملکرد زعفران، دی و اردیبهشت می‌باشد (جداول ۱ تا ۴).

جدول ۱- معادلات حاصل از رگرسیون گام به گام عملکرد زعفران بر اساس درجه‌حرارت متوسط

Table 1- The stepwise regression equations based on average temperature

شاخص Parameter	تفسیر Interpretation	گناباد Gonabad	نیشابور Neshabour	سبزوار Sabzevar		تربت‌حیدریه Torbat-e-Heydarieh	قوچان Ghoochan
				رابطه دوم 2nd eq.	رابطه اول 1nd eq.		
Ta_{March}	درجه حرارت متوسط اسفند Average temperature in March	-0.549	-	-	-0.047	-	-
$Ta_{Apr.}$	درجه حرارت متوسط فروردین Average temperature in April	-	-	-	0.041	-	-
Ta_{May}	درجه حرارت متوسط اردیبهشت Average temperature in May	-	-0.393	-0.327	-	-0.251	-
Ta_{June}	درجه حرارت متوسط خرداد Average temperature in November	-	-	-	-	-	0.524
B_0	عرض از مبدأ Intercept	10.913	10.703	10.960	1.897	8.488	0.756
R^2	ضریب تبیین Coefficient of determination	0.54*	0.065*	0.85	0.71*	0.87*	0.70*

*- تمامی روابط در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

*-All relationships are significant at the 5% level.

جدول ۲- معادلات حاصل از رگرسیون گام به گام عملکرد زعفران بر اساس درجه حرارت حداقل
Table 2- The stepwise regression equations based on minimum temperature

شاخص Parameter	تفسیر Interpretation	گناباد Gonabad	نیشابور Nishabour	سبزوار Sabzevar	تربت‌حیدریه Torbat-e-Heydarieh
$Ti_{Jan.}$	درجه حرارت حداقل دی Minimum temperature in January	-	0.168	-	-
Ti_{March}	درجه حرارت حداقل اسفند Minimum temperature in March	-0.336	0.504	-	-
Ti_{April}	درجه حرارت حداقل فروردین Minimum temperature in April	-0.299	-	-	-
Ti_{May}	درجه حرارت حداقل اردیبهشت Minimum temperature in May	-	-	-0.415	-0.311
$Ti_{Aug.}$	درجه حرارت حداقل مرداد Minimum temperature in August	-	0.848	-	-
$Ti_{Oct.}$	درجه حرارت حداقل مهر Minimum temperature in October	-	-	-	0.124
$Ti_{Nov.}$	درجه حرارت حداقل آبان Minimum temperature in November	-	-	0.256	-
B_0	عرض از مبدأ Intercept	17.816	19.115	8.605	0.629
R^2	ضریب تبیین Coefficient of determination	0.75*	0.79*	0.83*	0.98*

*- تمامی روابط در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

*-All relationships are significant at the 5% level.

اما روند وابستگی دما با این ماه‌ها متفاوت است؛ به‌طوری‌که با افزایش درجه حرارت حداکثر و درجه حرارت میانگین در دی‌ماه، عملکرد زعفران افزایش می‌یابد، درحالی‌که با افزایش هرکدام از این پارامترهای دمایی در اردیبهشت‌ماه، عملکرد روند کاهشی دارد (جدول ۲). مشابه این نتایج، حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2008) نشان دادند که با افزایش حداقل درجه حرارت در اردیبهشت‌ماه عملکرد زعفران کاهش می‌یابد.

مشابه بخش قبل در رابطه با نتایج کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) در مورد درجه حرارت بهینه در زمان گلدهی زعفران (۱۹/۵-۱۶ درجه سلسیوس)، همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، متوسط دمای سبزوار در این زمان بیش از ۲۲/۵ درجه می‌باشد، لذا این امر می‌تواند تأثیر مستقیم بر گلدهی و لذا عملکرد زعفران داشته باشد. به‌بیان‌دیگر، طبق این رابطه دمای حداکثر در این ماه با عملکرد زعفران رابطه معکوس دارد (جدول ۳). همین دمای بهینه، اهمیت مهر و آبان برای دمای حداقل در سبزوار و تربت‌حیدریه را نیز می‌تواند اثبات نماید. طبق نتایج ارائه‌شده در شکل ۳ دمای حداقل در ماه‌های مهر و آبان در این شهرها پایین‌تر از این مقدار بوده، لذا مطابق جدول ۲، در سبزوار و تربت‌حیدریه، هرچه دمای حداقل در مهر و آبان افزایش یابد، گلدهی و عملکرد زعفران بیشتر می‌باشد.

به‌طورکلی در شهرستان‌های تربت‌حیدریه و نیشابور گلدهی در اوایل مهرماه (به‌احتمال ۹۵ درصد، ۱۹ تا ۲۰ مهرماه) رخ می‌دهد. این شهرستان‌ها همچنین نسبت به سایر شهرستان‌ها دارای ارتفاع بیشتر و متوسط دمای پایین‌تر هستند.

در شهرستان‌هایی با ارتفاع بالاتر از سطح دریا و میانگین دمای پائین تر معمولاً تاریخ گلدهی و زمان آبیاری زودهنگام و در اوایل پائیز است. با کم شدن ارتفاع و بالا رفتن دمای هوا تاریخ گلدهی و زمان انجام اولین آبیاری به اواسط و در گاهی موارد به اواخر پائیز منتقل می‌شوند (Alizadeh et al., 2009).

برای تربت‌حیدریه و سبزوار می‌توان درجه حرارت حداقل را عامل محرک گلدهی زعفران معرفی نمود (جدول ۲). در مناطقی که زودتر سرد می‌شود، زودتر نیز گلدهی زعفران آغاز می‌شود (Koozehgaran et al., 2011). به‌طورکلی مرحله گل انگیزی در زعفران بسته به منطقه تولید از اواخر خردادماه شروع‌شده و تا نیمه مهرماه پایان می‌یابد (Koocheki et al., 2009).

جدول ۳- معادلات حاصل از رگرسیون گام به گام عملکرد زعفران بر اساس درجه حرارت حداکثر

Table 3- The stepwise regression equations based on maximum temperature

شاخص Parameter	تفسیر Interpretation	گناباد Gonabad	نیشابور Nishabour	سبزوار Sabzevar	تربت‌حیدریه Torbat-e-Heydarieh	قوچان Ghoochan
Tx_{March}	درجه حرارت حداکثر اسفند Maximum temperature in March	-0.516	-	-	-	-
Tx_{April}	درجه حرارت حداکثر فروردین Maximum temperature in April	-0.654	-	-	-	-
Tx_{May}	درجه حرارت حداکثر اردیبهشت Maximum temperature in May	-	-0.338	-0.046	-0.206	-
$Tx_{Oct.}$	درجه حرارت حداکثر مهر Maximum temperature in October	-	-	-0.046	-	-
$Tx_{Nov.}$	درجه حرارت حداکثر آبان Maximum temperature in November	-	-	-	-	0.494
B_0	عرض از مبدأ Intercept	15.143	12.326	3.215	8.955	-0.470
R^2	ضریب تبیین Coefficient of determination	0.74*	0.70*	0.76*	0.81*	0.81*

*- تمامی روابط در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشند.

*-All relationships are significant at the 5% level.

جدول ٤- معادلات حاصل از رگرسیون گام به گام عملکرد زعفران بر اساس اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز

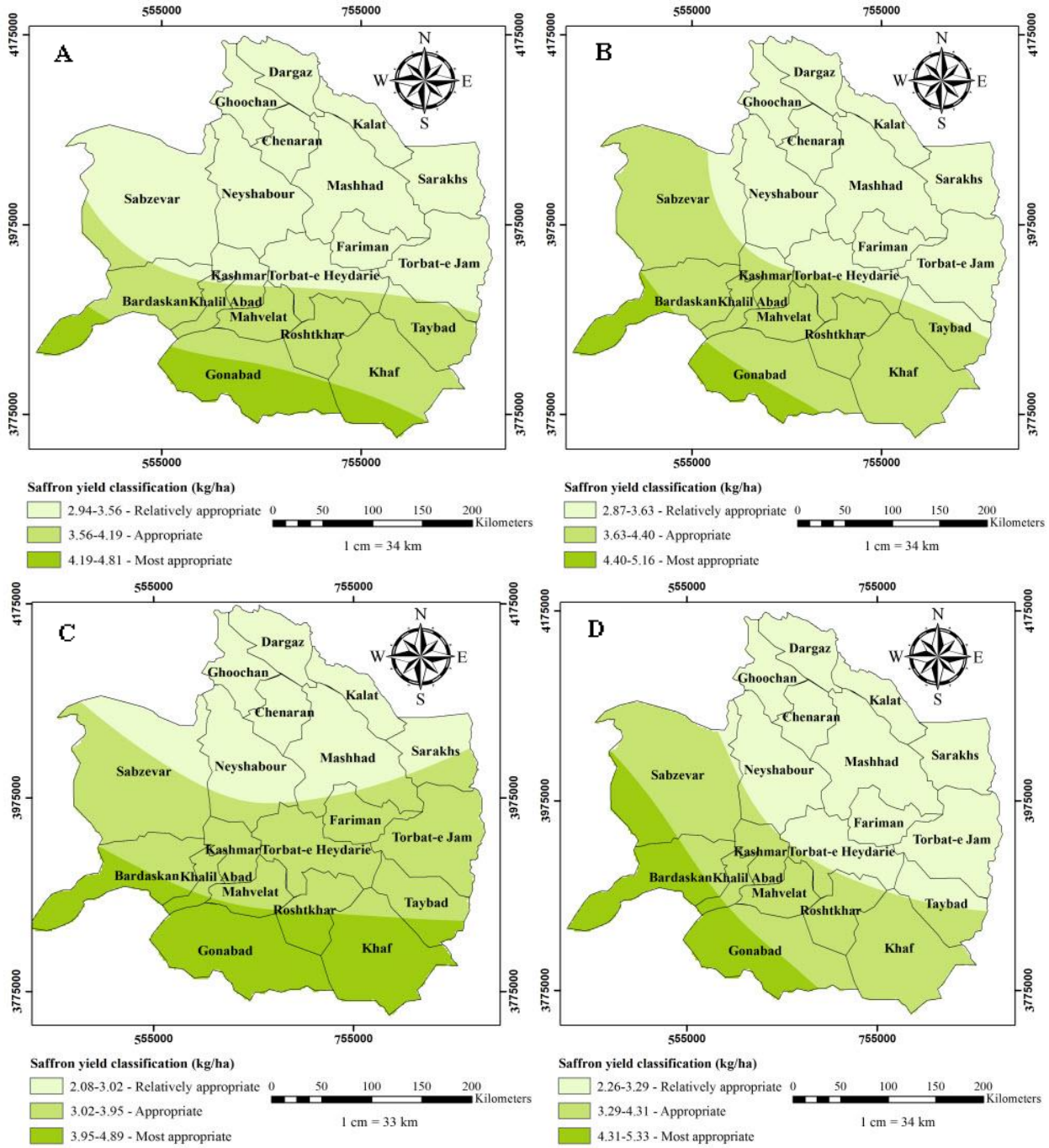
Table 4- The stepwise regression equations based on diurnal temperature variation

شاخص Parameter	تفسیر Interpretation	گناباد Gonabad	نیشابور Nishabour	سبزوار Sabzevar
Td_{March}	اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز اسفند Diurnal temperature variation in March	-0.441	-	-
Td_{April}	اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز فروردین Diurnal temperature variation in April	-0.424	-	-
Td_{May}	اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز اردیبهشت Diurnal temperature variation in May	-	-	-0.123
$Td_{Sep.}$	اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز شهریور Diurnal temperature variation in September	-	0.922	-
$Td_{Nov.}$	اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز آبان Diurnal temperature variation November	-	-	0.051
B_0	عرض از مبدأ Intercept	17.149	-14.959	1.702
R^2	ضریب تبیین Coefficient of determination	0.76*	0.70*	0.76*

*- تمامی روابط در سطح ۵٪ معنی‌دار میباشند.

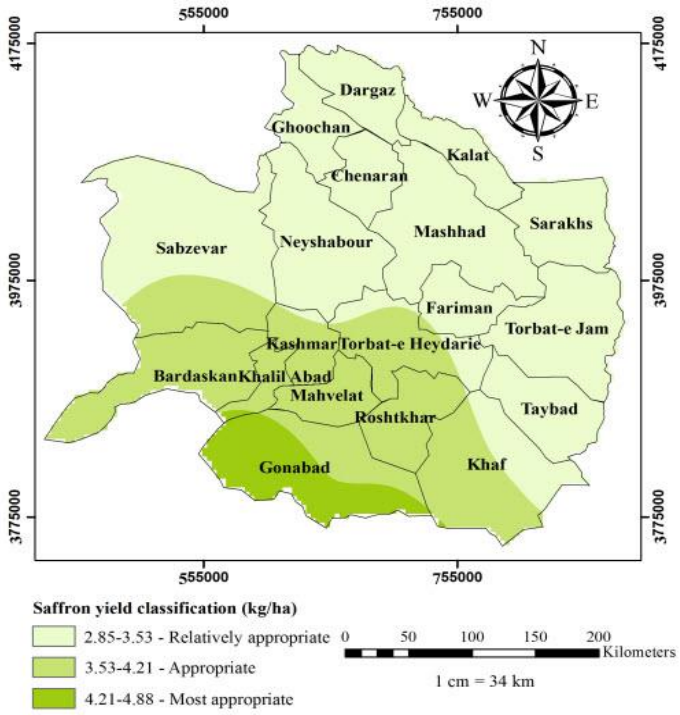
*-All relationships are significant at the 5% level.

طبق نتایج علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2009)، شهرستان سبزوار در مقایسه با سایر شهرستان‌های استان خراسان دارای دیرترین زمان گلدهی می‌باشد. این شهرستان با متوسط حداقل و حداکثر درجه حرارتی برابر با ۱۰/۷ و ۲۴/۵ درجه سلسیوس، دارای ارتفاعی حدود ۹۷۷/۶ متری از سطح دریا است. حداقل و حداکثر دما در این شهرستان نسبتاً بالاست (شکل ۲) و این عامل موجب تأخیر در عبور دما از ۱۲ درجه سلسیوس می‌گردد. زمان گلدهی در این شهرستان از اواخر آبان‌ماه تا اوایل آذرماه می‌باشد.



شکل ٤– پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت زعفران بر اساس پارامترهای درجه حرارت متوسط (A)، درجه حرارت حداکثر (B)، درجه حرارت حداقل (C) و اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز (D)

Figure 4– The zonation of studied areas for saffron cultivation based on average temprature (A), maximum temprature (B), minimum temprature (C) and daily temperature difference (D) parameters.



شکل ۵- پهنه‌بندی واقعی بر اساس میانگین بیست‌ساله داده‌های عملکرد زعفران

Figure 5- The actual zonation based on average of saffron yield during 20 years.

به‌طورکلی، اسفند، فروردین و اردیبهشت‌ماه مصادف با رشد رویشی زعفران است. مرحله رشد رویشی در زعفران، از اواخر آبان ماه (پس از گلدهی) شروع شده و تا اواخر اردیبهشت‌ماه ادامه می‌یابد. در این ماه‌ها زعفران ازنظر ظاهری در مرحله‌ای است که برگ‌ها به بلوغ رسیده و ذخایر لازم برای بنه‌ها را از طریق فتوسنتز فراهم می‌کنند، در حقیقت شرایط رشدی مناسب از نظر دمایی در این ماه‌ها سبب می‌شود که گیاه بتواند مواد فتوسنتزی بیشتری تولید نموده و بخش قابل‌توجهی از آنان را به اندام‌های ذخیره‌ای که همان بنه‌ها هستند انتقال دهد؛ این امر موجب می‌شود در فصل رشد بعدی، بنه‌های با ذخیره غذایی بالاتر از پتانسیل بیشتری برای رشد و تولید گل برخوردار باشند (Koozehgaran et al., 2014). در این راستا، هالوی (Halevy, 1990)، تغییرات دمای روزانه را برای گل‌دهی زعفران مؤثر دانسته و اظهار داشت که نوسان درجه‌حرارت روز و شب، مهم‌ترین عامل در تنظیم گل‌دهی این گیاه می‌باشد.

گناباد

این شهر در گرم‌ترین، کم بارش‌ترین و خشک‌ترین ناحیه اقلیمی استان خراسان رضوی قرارگرفته است (Esmaili et al., 2012). در بین ایستگاه‌های موردمطالعه استان خراسان رضوی، شهرستان گناباد با رطوبت نسبی ۳۹ درصد خشک‌ترین شهر استان می‌باشد (Iran Meteorological Organization, 2013).

طبق نتایج رگرسیون خطی در این شهر از نظر درجه حرارت‌های حداقل، حداکثر، متوسط و نیز اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز، ماه‌های مارس و آوریل (اسفند و فروردین) بیشترین تأثیر را بر عملکرد زعفران داشتند (جداول ۱ تا ۴). حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2008) نیز نشان دادند در شهرستان گناباد اصلی‌ترین متغیر آب-وهوایی کنترل‌کننده عملکرد زعفران درجه حرارت حداقل در اواخر ماه مارس (انتهای اسفند) می‌باشد، به‌طوری‌که با افزایش آن، عملکرد زعفران کاهش می‌یابد.

شناسایی مناطق مستعد کشت و پهنه‌بندی عملکرد واقعی زعفران

از نظر هر چهار شاخص درجه حرارت متوسط، حداقل و حداکثر و نیز اختلاف درجه حرارت شبانه‌روز، بهترین مناطق جهت کشت زعفران، مناطق جنوبی استان (گناباد) بود (شکل ۳)؛ به‌طوری‌که با افزایش فاصله به سمت مناطق شمالی استان (کاشمر، تربت حیدریه،

سبزوار، نیشابور، مشهد و قوچان) عملکرد زعفران بین ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش یافت (شکل ۳). مشابه این نتایج، کوزه‌گران و همکاران (Koozehgaran et al., 2011) با پهنه‌بندی عملکرد زعفران بر اساس درجه حرارت‌های حداقل، حداکثر و متوسط نشان دادند که در استان خراسان جنوبی، مناطق شمالی دارای بیشترین عملکرد بوده و این عملکرد از شمال به سمت جنوب استان رو به کاهش گذاشت.

مطابق نتایج حاصل از مدل‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده (شکل ۴)، پهنه‌بندی عملکرد واقعی (شکل ۵) نیز نشان داد که میزان عملکرد از شمال استان خراسان رضوی به سمت جنوب روندی افزایشی داشت؛ به‌طوری‌که مناطق شمالی استان دارای کمترین میزان عملکرد (۳/۵۳– ۲/۸۳ کیلوگرم بر هکتار) و مناطق جنوبی استان دارای بیشترین عملکرد (۴/۸۸ – ۴/۲۱ کیلوگرم بر هکتار) بودند (شکل ۴).

نتیجه‌گیری

بدون تردید درجه حرارت مهم‌ترین عامل محیطی کنترل‌کننده بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان می‌باشد. گلدهی نیز که اساساً مهم‌ترین مرحله فنولوژیکی در زعفران است، در ارتباط مستقیم با درجه حرارت محیط تنظیم می‌شود. بر اساس یافته‌های این پژوهش، کاهش عملکرد زعفران در استان رضوی به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر تغییرات شاخص‌های دمایی قرار دارد، به‌طوری‌که مانند تحقیقات مشابه می‌توان گفت در میان شهرستان‌های اصلی تولیدکننده زعفران استان بیش از ۷۰ درصد از تغییرات عملکرد را می‌توان با این متغیرهای آب و هوایی به‌خصوص پارامترهای دمایی توصیف کرد. نتایج این پژوهش نشان داد بخش‌های جنوبی استان ازجمله شهرستان گناباد به‌عنوان مناطق مستعد کشت زعفران تعیین‌شده و با تغییر اقلیم به سمت مناطق شمالی استان، میزان عملکرد به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت؛ به‌طوری‌که شهرستان-های رشتخوار، مه‌ولات، بردسکن، کاشمر، تربت‌حیدریه و خواف دارای عملکرد خوب و شهرهای شمالی استان ازجمله مشهد، قوچان و درگز دارای عملکرد نسبتاً ضعیف بودند.

منابع

Alavi Zadeh, S.A.M., Monazzam Esmaeel Pour, A., and Hossein Zadeh Kermani, M. 2013. Possibility study of areas with potential cultivation of saffron in Kashmar plain using GIS. Saffron Agronomy and Technology 1 (1): 71-95. (In Persian with English Summary).

Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J., and Mohamadian, A. 2009. Study for zoning the most appropriate time of irrigation of saffron (*Crocus Sativus* L.) in Khorasan Razavi, North and Southern provinces. Journal of Water and Soil 23 (1): 109-118.

ArcGIS. 2005. ArcGIS version 9.1. Esri Institute, New York, USA.

Atkinson, D., and Porter, J.R. 1996. Temperature, plant development and crop yields. Trends in Plant Sciences 1 (4): 119-124.

Benschop, M. 1993. Crocus. In A. De Hertogh, and M. Le Nard. The physiology of flower bulbs. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands. p. 257–272.

Ellis, R.H., Hadley, P., Roberts, E.H., and Summerfield, R.J. 1990. Quantitative relations between temperature, crop development and growth. In M.T. Jackson, B.V. Ford-Lloyd and M.L. Parry (Eds.). Climate change and plant genetic resources. Belhaven Press, London, UK. p. 85-115.

Esmaili, R., Montazeri, M., Esmaeelnejad, M., and Saber Haghighat, A. 2012. Climatic regionalization using multivariate statistical methods, case study: Khorasan Razavi Province. Journal of Climate Research 7-8: 43-56. (In Persian with English Summary).

Fallah Ghalhary, G.A., Habibi Nokhandan, M., and Khoashhal, J. 2008. Spring rainfall estimation of Khorasan Razavi province based on tele-connection synoptically patterns using adaptive neuro-Fuzzy inference system 63 (1): 55-74.

Faraj Zadeh, M., and Teklobighash, A. 2001. The agroclimatic distribution of Hamedan province by using geographical information system. Geographical Research Journal 14: 63-105. (In Persian with English Summary).

Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G.M., Siracusa, L., and Ruberto, G. 2009. Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by environmental conditions. Scientia Horticulturae 119: 320-324.

Halevy, A.H. 1990. Recent advances in control of flowering and growth habit of geophytes. Acta Horticulture 266: 35-

42.
Hartkamp, A.D., De Beurs, K., Stein, A., and White, J.W. 1999. Interpolation techniques for climate variables. CIMMYT NRG-GIS Series, Mexico.
Hosseini, M., Mollafilabi, A., and Nassiri, M. 2008. Spatial and temporal patterns in saffron (*Crocus sativus* L.) yield of Khorasan province and their relationship with long term weather variation. Journal of Iranian Field Crop Research 6 (1): 79-88.
Kafi, M., Rashed, M.H. Koocheki, A., and Mollafilabi, A. 2002. Saffron (*Crocus sativus* L.), production and processing. Center of excellence for agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
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). Saffron Agronomy and Technology 2 (1): 75-90. (In Persian with English Summary).
Koocheki, A., Nassiri, M., Alizadeh, A., and Ganjali, A. 2009. Modelling the impact of climate change on flowering behavior of saffron (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 592-594. (In Persian with English Summary).
Koul, K.K., and Farooq, S. 1984. Growth and differentiation in the shoot apical meristem of the saffron plant (*Crocus sativus* L.). Journal of Indian Botanical Society 63: 153–160.
Koozehgaran, S., Mousavi Baygi, M., Sanaeinejad, H., and Behdani, M.A. 2011. Study of the minimum, average and maximum temperature in South Khorasan to identify relevant areas for saffron cultivation using GIS. Soil and Water 25 (4): 892-904. (In Persian with English Summary).
Koozehgaran, S., Mousavi Baygi, M., Sanaeinejad, H., and Behdani, M.A. 2014. Identification relevant areas for saffron cultivation according to precipitation and relative humidity in South Khorasan using GIS. Journal of saffron research 1 (1): 85-96. (In Persian with English Summary).
Ministry of Agriculture jihad (Iran). 2011. Available at website: http://pr.maj.ir/Portal/Home. (Verified: 2 March, 2015)
Moafi Madani, S.F., Mousavi Baygi, M., and Ansari, H. 2013. Prediction of drought in the Khorasan Razavi province during 2011-2030 by using Statistical Downscaling of HADCM3 Model Output. Geography and Environmental Hazard 1: 21-37. (In Persian with English Summary).
Moayedi Shahraki, E., Jami Al-Ahmadi, M., and Behdani, M.A. 2010. Study of energy efficiency of saffron (*Crocus sativus* L.) in Southern Khorasan. Agroecology 2: 55–62. (In Persian with English Summary).
Mohammadi, H., Ranjbar, F., and Soltani, M. 2011. Climatic potentials assessment for saffron cultivation in Marvdasht. Journal of Geography and Environmental Planning 22 (3): 143-154. (In Persian with English summary).
Molla Filabi, A. 2012. New Technology in Saffron Production, challenges and approaches. Sixth National Saffron Festival, Ghaen. (In Persian with English Summary).
Molina, R.V., Garcıa-Luis, A., Coll, V., Ferrer, C., and Valero, M. 2004. Flower formation in the saffron *Crocus* (*Crocus sativus* L.), the role of temperature. Acta Horticulturae 650: 39–47.
Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L., and Garcia-Luice, A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae 103: 361–379.
Sadeghi, B. 2012. Effect of corm weight on saffron flowering. In Proceedings of the 4th International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology. Kashmir, India, 22-25 October 2012.
Sepaskhah, A.R., and Kamgar-Haghighi, A.A. 2009. Saffron irrigation regime. International Journal of Plant Production 3: 1–16.
SPSS 2013. SPSS Version 22. IBM Institute, Chicago, USA.
Tait, A., Henderson, R., Turner, R., and Zheng, X. 2006. Thin-plate smoothing spline interpolation of daily rainfall for New Zealand using a climatological rainfall surface. International Journal of Climatology 26 (14): 2097–2115.

Evaluation of yield and identifying potential regions for Saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation in Khorasan Razavi province according to temperature parameters

Moein Tosan[1], Amin Alizadeh[2*], Hossein Ansari[3] and Parviz Rezvani Moghaddam[4]

1, 2, 3, 4 M.Sc. Student of Irrigation and Reclamation Engineering, Professor and Associate Professor of Water Engineering, and Professor of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(- Corresponding Author E-mail: alizadeh@gmail.com)*

Received: 25 January 2015 **Accepted:** 6 March 2015

Abstract

Saffron is cultivated in most part of Iran, because of low water requirement and well adaptation to diverse environmental condition. In recent years, for many reasons such as low water requirement, saffron cultivation areas has been increased especially in Khorasan Razavi province. Temperature is one of the most important factors in saffron flowering phenomena. The aim of this research was to evaluate the response of saffron to temperature in Khorasan Razavi province counties (Torbat-e-Heydarieh, Gonabad, Nishabour, Sabzevar and Ghoochan). Climatic data (monthly minimum, average, maximum temperatures and diurnal temperature range) and saffron yield data were collected for past 20 years period. The stepwise regression methods were used to remove extra parameters and only keep the most important ones. By using these equations and ArcGIS software zoning, Spline method was find the best for saffron crop zoning. The results of linear regression in Gonabad showed that minimum, maximum and average temperature and also diurnal temperature range in March and April months had the greatest impact on saffron yield. For each of the four indices (the minimum, maximum and average temperature and also diurnal temperature range) the best area for saffron cultivation was the southern part of the province (particularly Gonabad); so by increasing distance from this area to north areas (such as Kashmar, Torbat-e-Heydarieh, Sabzevar, Nishabour, Mashhad and finally Ghoochan) saffron yield reduced by 30 to 50 percent. Therefore, the northern areas of the province had relatively low saffron yield. According to result of this research, saffron yield in Khorasan Razavi province was significantly influenced by temperature parameters. Flowering which basically is the most important stage of plant growth, is directly setting up with temperature.

Keywords: *Climate, Regression, Saffron yield, Temperature, Zoning.*