



پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و تعیین پارامترهای اقلیمی مؤثر بر آن در سطح  
استان خراسان رضوی

امیر سالاری<sup>۱\*</sup>، مهدی بشیری<sup>۲</sup> و علی ماروسی<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار گروه کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

\* نویسنده مسئول: E-mail: salari.1361@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۲۶

#### چکیده

پیش‌بینی عملکرد سالیانه گران‌بهارترین محصول جهان به دلیل نقش قابل توجه در وضعیت اقتصادی و اجتماعی مناطق خشک و نیمه-خشک و همچنین ارزآوری، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی این تحقیق، پیش‌بینی عملکرد سالیانه زعفران و تعیین نواحی مستعد کشت بر اساس پارامترهای اقلیمی و تعیین پارامترهای اقلیمی مؤثر بر عملکرد زعفران در سطح استان خراسان رضوی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش دمای میانگین ماه‌های سرد و کاهش دمای میانگین ماه‌های گرم سال، میزان عملکرد افزایش می‌یابد. افزایش میزان بارش و ساعات آفتابی در طول فصل رشد، میزان عملکرد را افزایش داد. بیشترین و کمترین همبستگی منفی عملکرد زعفران به ترتیب با دماهای حداکثر فروردین و اردیبهشت و بیشترین و کمترین همبستگی مثبت با دمای حداکثر ماه بهمن و دمای حداقل فصل زمستان به دست آمد. نتایج نشان داد که روش‌های مختلف داده‌کاوی مناطق مستعد کشت را بهتر از عملکرد سالیانه پیش‌بینی می‌نمایند، در بین مدل‌های به کار رفته، روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان خطی، توابع شعاعی پایه و تحلیل ممیزی به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۵، ۰/۹۳ و ۰/۸۴، مناطق مستعد کشت را بهتر از سایر مدل‌ها پیش‌بینی نمودند، ضمن آنکه بین منطقه و میزان عملکرد همبستگی خوبی به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: دما، ماشین‌بردار پشتیبان، نواحی مستعد کشت.

## مقدمه

موقعیت بهتری از لحاظ پارامترهای اقلیمی داشته و میزان تولید از جنوب به سمت شمال استان خراسان رضوی، روند کاهشی دارد (Tosan et al., 2015). بررسی اثر پارامترهای هواشناسی (درجه حرارت حداقل، حداکثر و متوسط) بر عملکرد زعفران در سطح استان خراسان جنوبی نیز نشان می‌دهد که اکثر مناطق این استان در شرایط مناسب یا نیمه مناسب قرار دارند و مناطق شمالی و شمال شرقی آن، دارای بهترین شرایط از لحاظ درجه حرارت‌های میانگین، حداقل و حداکثر برای کشت زعفران بوده، مناطق مرکزی نیمه مستعد و مناطق جنوبی و جنوب غربی آن نامناسب می‌باشند (Koozehgaran et al., 2014).

عموماً گلدهی زعفران در سطح استان خراسان رضوی از اواسط مهرماه آغاز شده و مدت آن در دمای بهینه ۳۴ روز و حداکثر ۵۰ روز بوده، ضمن آنکه گلدهی زعفران ارتباط مستقیمی با درجه حرارت داشته و هر چقدر دما در پاییز زودتر کاهش یابد گلدهی نیز زودتر اتفاق می‌افتد (Koocheki et al., 2009)، این به دلیل مکانیسم خاص زعفران است که عمل گلدهی زعفران به صورتی است که هر چقدر افت درجه حرارت در شب بیشتر باشد روز بعد تعداد گل بیشتری ظاهر خواهد شد (Alizadeh et al., 2009).

با افزایش درجه حرارت حداکثر و درجه حرارت میانگین در دی ماه، عملکرد زعفران افزایش یافته و با افزایش هر کدام از این پارامترهای دمایی در اردیبهشت ماه، عملکرد روند کاهشی دارد، از طرفی، افزایش حداقل دما در اردیبهشت - ماه باعث کاهش و در مهر و آبان باعث افزایش عملکرد زعفران می‌گردد. البته بایستی در نظر داشت که در هر اقلیمی، پارامتر خاصی بر عملکرد مهم می‌باشد، به طور مثال در تربت حیدریه و سبزوار، حداقل دما، عامل اصلی محرک گلدهی بوده و دمای حداقل، حداکثر، متوسط و اختلاف دمای شبانه روزی ماه‌های اسفند و فروردین ماه دارای بیشترین تاثیر بر میزان عملکرد نهایی زعفران می‌باشند (Tosan et al., 2015)، نتایج طرح دیگری در شهرستان گناباد نشان داد اصلی ترین عامل اقلیمی کنترل کننده عملکرد زعفران، دمای حداقل در اواخر اسفندماه بوده و با افزایش دمای حداقل در اواخر ماه اسفند، عملکرد زعفران کاهش یافت (Hosseini et al., 2008).

زعفران به دلیل مصرف کم آب، تطابق با نیازهای اقلیمی خاص مناطق خشک و نیمه خشک، قیمت و درآمد بالا، صرف نیروی کارگر زیاد، داشتن تجربه بالای بومی، صادراتی بودن و نیاز روزافزون جهانی، جایگاه ویژه‌ای در الگوی کشت مناطق خشک و نیمه خشک کشور از جمله استان‌های خراسان رضوی و جنوبی دارد، به طوری که بیش از ۹۰ درصد سطح زیر کشت و تولید این محصول در این دو استان قرار دارد. استفاده بهینه از منابع آب و خاک مستلزم انطباق فعالیت‌های زراعی با شرایط اقلیمی است. نقش استراتژیک زعفران در سبد صادراتی ایران، برند ایرانی بودن آن در سطح جهانی و ظهور رقابتی جدید منطقه‌ای و بین‌المللی، لزوم شناخت تمامی موانع و عوامل موثر در کمیت و کیفیت این محصول خاص از جمله عوامل اقلیمی را ضروری و حیاتی نموده است. تحقیقی با بررسی سه مدل دمایی مختلف برای پیش بینی زمان گلدهی زعفران در چهار شهرستان تربت حیدریه، گناباد، بیرجند و قاین نشان داد که زمان شروع گلدهی زعفران با میانگین درجه حرارت ماهانه ارتباط نزدیکی دارد و این رابطه با استفاده از مدل خطی ساده به خوبی قابل پیش بینی می‌باشد (Behdani et al., 2003). تحقیق دیگری بیان می‌دارد که مناسب ترین دما برای رشد زعفران ۱۵-۲۵ درجه سانتیگراد بوده و با افزایش دما به بالاتر از این حد، میزان عملکرد کاسته می‌گردد (Alavizade et al., 2013).

وقوع یخبندان‌های پاییزی در زمان گلدهی دارای تأثیر منفی بر عملکرد زعفران بوده، ضمن آنکه تجاوز درجه حرارت شبانه از ۱۰ و روزانه از ۲۲ درجه سانتیگراد در زمان گلدهی نیز دارای تأثیر منفی بر عملکرد می‌باشد (Nokandi, 1999). البته معمولاً در مناطق تولید زعفران در خراسان رضوی متوسط حداکثر دما در زمان ظهور گل و رشد برگ در ماه‌های آبان، آذر و دی از ۲۰ درجه سانتیگراد تجاوز نمی‌نماید و حداقل دما در طول این مدت نیز، نزدیک به صفر می‌باشد (Kafi et al., 2003). نتایج تحقیقی در سطح استان خراسان رضوی با عنوان بررسی تاثیر عوامل اقلیمی بر عملکرد زعفران نشان داد که عملکرد زعفران به شدت تحت تأثیر درجه حرارت بوده اما این تأثیر بسته به اقلیم منطقه متفاوت است به طوری که مناطق جنوبی استان از جمله شهرستان گناباد دارای

دقت مناسبی در سنجش قابلیت اراضی کشت زعفران بوده و حدود ۴۳ درصد از مساحت منطقه تحت مطالعه که عمدتاً در نواحی مرکزی شهرستان تربت‌حیدریه واقع شده، از بالاترین عملکرد برخوردار می‌باشند (Rashid- Sorkhabadi et al., 2016).

پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از داده‌های هواشناسی به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی نیز نشان داد که مدل چندلایه پرسپترن شبکه عصبی مصنوعی هنگام استفاده از داده‌های حداکثر دما، بارندگی، تبخیر و تعرق و رطوبت‌نسبی فصل پاییز و عملکرد سال قبل، به‌عنوان متغیرهای مستقل در پیش‌بینی عملکرد محصول از کارایی و دقت بالایی برخوردار است (Nekouei et al., 2014).

پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از داده‌های هواشناسی به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی نشان داد، همان‌طور که قبلاً اشاره شد درجه‌حرارت تمامی فرایندهای فیزیکی و شیمیایی متابولیسم گیاهان را تنظیم می‌کند (Sing & Villon, 1995). در مورد زعفران نیز، درجه‌حرارت مهم‌ترین عامل مؤثر بر گل‌انگیزی می‌باشد (Gresta et al., 2004; Molina et al., 2009). تغییرات دمای روزانه برای گل‌دهی زعفران مؤثر بوده و می‌توان بیان نمود که نوسانات درجه‌حرارت روز و شب مهم‌ترین عامل تنظیم گل‌دهی این گیاه است (Halevy, 1990). بهترین و مطلوب‌ترین دما برای ظهور گل‌ها، بین ۹-۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Blaauw, 1935). البته گیاه زعفران برعکس بسیاری از گیاهان، دارای رژیم حرارتی متفاوتی بوده و معمولاً آغاز فعالیت این گیاه با شروع فصل سرما همراه است و مهم‌ترین عامل در تنظیم گل‌دهی پیاز زعفران، عامل دما می‌باشد (Amir-Ghasemi, 2004).

گیاه زعفران از جمله گیاهانی است که بخش اعظمی از طول فصل رشد آن، با یخبندان‌های زمستانه مواجه است، لذا می‌توان این گیاه را گیاهی مقاوم به سرما دانست، ضمن آنکه صفر پایه و یا صفر فیزیولوژیکی زعفران ۵ درجه سانتیگراد بوده (Mirzabayati, 2005)، رشد مطلوب گیاه در درجه حرارت‌های بین ۱۵-۲۵ درجه سانتیگراد تأمین می‌شود و تولید پیاز بیشتر در رژیم حرارتی ۲۷ درجه سانتیگراد در طول شب به‌وقوع می‌پیوندد (Plessner & Ziv, 1990) یخبندان در

نتایج تحقیقی در سطح استان خراسان رضوی، بیش از ۰/۷۰ از تغییرات عملکرد زعفران را به متغیرهای آب و هوایی مخصوصاً پارامترهای دمایی نسبت دادند (Tosan et al., 2015). پژوهش مشابهی نیز نشان می‌دهد که دمای حداقل عامل اصلی و تعیین کننده گل و خروج گل است لذا هر چه افت دمای شب بیشتر باشد روز بعد تعداد گل بیشتری جمع خواهد شد (Molina et al., 2004). در تحقیق دیگری درجه حرارت حداقل مهر، آبان و آذر، درجه حرارت حداکثر ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین و میانگین دمای ماه‌های مهر، آبان، آذر و دی بر عملکرد زعفران مؤثر شناخته شدند (Koozehgaran et al., 2014).

در بین عوامل مختلف مؤثر بر عملکرد زعفران، عوامل آبیاری، بارندگی و ساعات آفتابی مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد زعفران می‌باشد (Shirdeli and Tavassoli., 2015).

گیاه زعفران برای رشد مطلوب خود به میزان معینی از بارندگی حدود ۲۰۰ میلیمتر نیاز دارد (Kamali, 2003; Rahmati, 1982). عملکرد زعفران می‌تواند با میزان بارندگی سالانه در ارتباط باشد، در سال‌هایی که زمان گلدهی زعفران با شروع بارندگی‌ها هم‌زمان باشد عملکرد زعفران بالاتر خواهد بود. با توجه به نیاز آبی زعفران در فصل زمستان، هر چقدر که میزان بارندگی در این فصل بیشتر باشد عملکرد محصول افزایش می‌یابد، دوران رشد و نمو، فصل‌های پاییز و زمستان و اوایل بهار است که علاوه بر بارش بیشتر در این زمان از سال، میزان تبخیر نیز در حد پایینی قرار دارد (Behnia, 1991) البته زعفران به رطوبت نسبی بالا حساس بوده و رطوبت بالا به گیاه آسیب می‌رساند (Hashemlooyan & Ataie-Azimi, 2007).

ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی مؤثر بر کشت زعفران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در منطقه رشتخوار تربت حیدریه نشان داد در میان عوامل محیطی، بارش و دما دارای بیشترین تأثیر و منابع آبی و تبخیر دارای کمترین تأثیر در میزان عملکرد زعفران می‌باشند (Kamyabi et al., 2014).

نتایج تحقیقی با عنوان تعیین مکان‌های مناسب کشت زعفران در شهرستان تربت‌حیدریه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی نشان داد که این روش دارای

### مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سطح استان خراسان رضوی با طول شرقی ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه و عرض شمالی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه و مساحتی برابر با ۱۱۸۸۵۴ کیلومترمربع انجام پذیرفت. در این تحقیق، نیازهای اقلیمی زعفران به‌عنوان متغیرهای مستقل با استفاده از منابع علمی موجود تعیین گردیده و با توجه به آمار عملکرد محصول در سطح ۸ شهرستان استان خراسان رضوی شامل قوچان، گناباد، کاشمر، مشهد، سبزوار، نیشابور، سرخس و تربت حیدریه، طی دوره ۲۰ ساله زراعی ۱۳۶۸-۸۸ به‌عنوان متغیر وابسته، عملیات پیش‌بینی اجرا گردید. در ابتدا به منظور تعیین رابطه مناسب بین ناحیه و میزان عملکرد و انتخاب بهترین مدل، ناحیه‌ها بر اساس میزان میانگین عملکرد زعفران در سال‌های مختلف مرتب گردید (جدول ۱).

زمان گلدهی تأثیر منفی بر عملکرد زعفران داشته و افزایش درجه حرارت میانگین و حداقل در زمان گلدهی باعث افزایش عملکرد می‌گردد (Behdani, 2006; Arsalani et al., 2015). در زمستان به‌دلیل پایین آمدن دما، پیاز مادر تجزیه شده و پیازهای جوان روی آن شکل می‌گیرد این بنه‌ها، ابتدا فاقد ریشه بوده، لذا مواد غذایی مورد نیاز خود را از طریق برگ جذب نموده و باعث رشد و حجیم شدن پیازهای جوان می‌شود (Abrishami, 2009).

هدف از اجرای این تحقیق، پیش‌بینی تأثیر عوامل اقلیمی بر میزان عملکرد زعفران در مناطق خشک و نیمه‌خشک خراسان رضوی با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی است. فرآیند پیش‌بینی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی، روش‌های نسبتاً جدیدی در زمینه کشاورزی محسوب می‌گردد، در این روش‌ها، اصل بر آموزش مدل بوده و این مهم توسط داده‌های گردآوری شده از گذشته انجام می‌پذیرد.

جدول ۱. نواحی مورد بررسی در این تحقیق مرتب شده بر اساس افزایش میانگین تولید در سال‌های ۱۳۶۸-۸۸

**Table . Areas examined in this study sorted by increase in the average production during 1989-2009**

ردیف Rows	1	2	3	4	5	6	7
ناحیه Area	نیشابور Neyshabour	قوچان Qochan	تربت جام Torbat Jam	کاشمر Kashmar	سبزوار Sabzevar	تربت حیدریه Torbat Heidarieh	گناباد Gonabad
میانگین عملکرد زعفران (کیلوگرم بر هکتار) Saffron mean yield (kg/ha)	2.53	2.92	3.2	3.29	3.38	3.77	4.39

رگرسیون درختی<sup>۱۱</sup>، جنگل تصادفی<sup>۱۲</sup> و ماشین‌های بردار پشتیبان<sup>۱۳</sup> خطی<sup>۱۴</sup>، چند جمله‌ای<sup>۱۵</sup>، تابع شعاع مبنای آنوا<sup>۱۶</sup> و نرم<sup>۱۷</sup> در محیط متلب و جهت اعتبارسنجی آنها، از روش اعتبارسنجی چند لایه‌ای<sup>۱۸</sup> استفاده گردید (۳۰ درصد داده‌ها جهت اعتبار سنجی استفاده گردید). یکی از

در این تحقیق جهت تعیین مدل برتر از روش‌های مختلف رگرسیون خطی<sup>۱</sup>، درجه دوم خالص<sup>۲</sup>، اثر متقابل<sup>۳</sup> و درجه دوم<sup>۴</sup>، شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۵</sup>، k- نزدیک‌ترین همسایه<sup>۶</sup>، الگوریتم‌های گروهی مدل‌سازی داده‌ها<sup>۷</sup>، روش تشخیص الگو<sup>۸</sup>، تحلیل ممیزی<sup>۹</sup>، درخت طبقه‌بندی<sup>۱۰</sup>،

- 10 - Classification tree
- 11 - Regression tree
- 12 - Random Forest
- 13 - Support Vector Machine (svm)
- 14 - Svm-linear
- 15 - Svm-poly
- 16 - Svm-rbf
- 17 - Svm-L2
- 18 - k-Fold Cross-Validation

- 1 - Linear
- 2 - Purequadratic
- 3 - Interaction
- 4 - Quadratic
- 5 - Neural Network (ANNS)
- 6 - K Nearest Neighbor
- 7 - Group Method of Data Handling (GMDH)
- 8 - Pattern Recognition
- 9 - Discriminant analysis (class discriminant)

## نتایج

رابطه بین شرایط اقلیمی (شامل ۷۴ عامل، عامل سال و ناحیه (شهرستان) و میزان عملکرد سالانه زعفران در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که در تحلیل همبستگی پیرسون بین داده‌ها مشاهده می‌گردد، رابطه میانگین دمای فروردین (عامل ۱) با عملکرد منفی به‌دست آمد این رابطه بدین مفهوم است که با افزایش دمای میانگین ماه فروردین، عملکرد کاهش یافته و برای تولید بیشتر بایستی میانگین دمای هوای در این ماه کاهش یابد، بالعکس میانگین دمای آبان، دی و بهمن (عوامل ۸، ۱۰ و ۱۱) رابطه‌ای مثبت با عملکرد سالیانه زعفران داشت، به عبارتی یک زمستان سرد نسبت به یک زمستان سردتر تولید بیشتری را باعث می‌گردد. همانند دمای میانگین، حداکثر دمای آبان، دی و بهمن و حداقل دمای بهمن (عوامل ۲۷، ۳۱، ۳۲، ۳۳ و ۳۴) رابطه‌ای مثبت و حداکثر دمای اردیبهشت و فروردین (عوامل ۱۳ و ۱۵) رابطه‌ای منفی با عملکرد سالیانه زعفران داشتند، نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران گزارش گردیده است (Alavizade et al 2013; Koozehgaran et al, 2014; 2015; Tosan et al., 2015). از آنجایی که در ماه‌های خرداد تا مهر گیاه زعفران در حال رکود و خواب است، تأثیر معنی‌داری بین عوامل دمایی این بازه زمانی و عملکرد سالیانه در هیچ سال و منطقه‌ای به‌دست نیامد. در مقیاس فصلی، دمای زمستان (عامل ۵۲) رابطه‌ای مثبت و حداکثر دمای بهار (عامل ۵۳) رابطه‌ای منفی با عملکرد سالیانه داشتند.

با افزایش رطوبت نسبی و بارش پاییزه (عوامل ۶۳ و ۶۷)، احتمالاً به‌دلیل برقراری بیشتر تعادل دمایی (و گرم شدن هوا به‌دلیل افزایش میزان رطوبت نسبی هوا) و اثر منفی بارش بر میزان ظهور و افزایش پلاسیدگی گل‌ها، عملکرد کاهش یافت (رابطه منفی)، بالعکس افزایش بارش فصلی بهار و زمستانه و بارش مجموع سالیانه (عوامل ۶۵، ۶۸ و ۶۹) باعث افزایش عملکرد سالیانه گردید (رابطه مثبت)، دلیل این امر، تأمین نیاز آبی و تعادل دمایی هوا (جلوگیری از افت شدید دمای هوا و یخبندان زمستانه) در این مرحله از رشد می‌باشد (جدول ۲).

روش‌های مناسب، ارزیابی چند لایه‌ای با تقسیم داده‌ها بطور تصادفی به  $k$  زیر مجموعه مجزا می‌باشد که  $k-1$  قسمت آن برای آموزش و یک قسمت برای تست استفاده می‌گردد، این عمل  $k$  بار تکرار شده تا هر یک از زیر مجموعه‌ها حداقل یک‌بار مورد تست قرار گیرد، در نهایت، ارزیابی نهایی بر اساس میانگین‌گیری انجام می‌پذیرد. (Han et al., 2006). (در این تحقیق، مقدار  $k$  برابر با ۱۰ در نظر گرفته شد).

علاوه بر این چون تعداد متغیرهای ورودی معنی‌دار، زیاد و تعداد نمونه‌ها کم بود، به منظور کاهش عامل‌های ورودی و انتخاب عوامل مؤثر در بهبود پیش‌بینی عملکرد زعفران، از روش رگرسیون گام به گام<sup>۱</sup> و تحلیل متغیرها استفاده شد (Studentmund, 2005). در این روش، در هر مرحله همه متغیرهای رگرسیونی از قبل وارد شده به مدل با آماره  $F$  جزئی خودشان مجدداً ارزیابی می‌شوند. یک متغیر رگرسیونی اضافه شده در قدم قبل ممکن است به لحاظ ارتباط با متغیرهای رگرسیونی که اکنون در معادله- اند زائد باشد. اگر آماره  $F$ - جزئی برای یک متغیر کمتر از آماره  $F$  از پیش تعیین شده باشد، آن متغیر از مدل کنار گذاشته می‌شود.

برای حصول اطمینان از روند مدل‌سازی، اعتبارسنجی و ارزیابی دقت مدل‌های مورد استفاده، از معیارهای آماری ضریب تبیین<sup>۲</sup> ( $R^2$ ) و میانگین مربع خطا<sup>۳</sup> ( $MSE$ ) که به ترتیب از روابط (۱) و (۲) به‌دست می‌آیند، استفاده گردید در این روابط، مؤلفه  $n$ ، تعداد داده‌های مورد ارزیابی و  $x_i$  و  $y_i$  به ترتیب آمین داده برآوردی و اندازه‌گیری شده می‌باشند.

$$R^2 = \frac{\sum (y_i - x_i)^2}{\sum (\bar{y} - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{N} \quad (2)$$

جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون و p-Value بین عملکرد سالانه زعفران و ۷۶ عامل مختلف (P\_Valu< 0.05) نشان‌دهنده معنادار بودن ضرایب همبستگی می‌باشد)  
**Table 2. Pearson's correlation coefficients and p-Value of annual yield of saffron and 76 different factors (P\_Value <0.05 indicates significant correlation coefficients)**

میانگین دمای هوا Mean temperature												
	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد jun	تیر Jul	مرداد Aug	شهریور Sep	مهر Oct	آبان Nov	آذر Decem	دی Jan	بهمن Feb	اسفند March
شماره عامل Factor number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
مقدار p P value	0.01	0.17	0.98	0.31	0.16	0.67	0.32	0.02	0.82	0.00	0.00	0.28
ضریب Coefficient	-0.25	-0.13	0.00	0.09	0.13	0.04	-0.09	0.23	-0.02	0.31	0.38	-0.10
دمای فروردین April temperature												
دمای اردیبهشت May temperature												
دمای خرداد june temperature												
دمای تیر July temperature												
دمای مرداد August temperature												
دمای شهریور September temperature												
شماره عامل Factor number	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
مقدار p P value	0.00	0.10	0.03	0.84	0.49	0.62	0.72	0.14	0.37	0.05	0.83	0.39
ضریب Coefficient	-0.32	-0.16	-0.20	-0.02	-0.06	0.05	0.03	0.14	0.09	0.18	-0.02	0.08
دمای مهر October temperature												
دمای آبان November temperature												
دمای آذر December temperature												
دمای دی January temperature												
دمای بهمن February temperature												
دمای اسفند March temperature												
شماره عامل Factor number	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
مقدار p P value	0.28	0.45	0.00	0.15	0.57	0.34	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.78
ضریب Coefficient	-0.10	-0.07	0.28	0.14	0.05	-0.09	0.25	0.35	0.36	0.38	-0.20	0.03
دامنه تغییرات دما Temperature variation range												
	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد jun	تیر Jul	مرداد Aug	شهریور Sep	مهر Oct	آبان Nov	آذر Decem ber	دی Jan	بهمن Feb	اسفند March

سالاری و همکاران: پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و... ۷

شماره عامل	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Factor number												
مقدار P	0.00	0.26	0.02	0.03	0.12	0.06	0.86	0.08	0.04	0.11	0.20	0.00
P value												
ضریب	-0.27	-0.11	-0.22	-0.20	-0.14	-0.18	-0.02	0.17	0.20	-0.15	-0.12	-0.27
Coefficient												
	دمای فصلی				دمای بهار		دمای تابستان		دمای پاییز		دمای زمستان	
	Seasonal temperature				Spring temperature		Summer temperature		Autumn temperature		Winter temperature	
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
شماره عامل	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Factor number												
مقدار P	0.21	0.30	0.74	0.00	0.01	0.53	0.76	0.14	0.26	0.91	0.02	0.00
P value												
ضریب	-0.12	0.10	0.03	0.29	-0.25	-0.06	0.03	0.14	0.11	-0.01	0.21	0.34
Coefficient												
	رطوبت نسبی				بارش فصلی				آفتابی فصلی			
	Relative humidity				Seasonal rainfall				Seasonal sunhour			
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بارش	بهار	تابستان	پاییز
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	سالیانه	Spring	Summer	Autumn
شماره عامل	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Factor number												
مقدار P	0.74	0.46	0.00	0.20	0.01	0.29	0.06	0.07	0.04	0.81	0.48	0.03
P value												
ضریب	0.03	-0.07	-0.35	-0.12	0.25	0.10	-0.17	0.17	0.19	-0.02	-0.07	0.20
Coefficient												
	آفتابی فصلی	آفتاب	سال	ناحیه	عملکرد							
	زمستان	سالیانه	Year	Area	سالیانه							
	Winter sunhour	Year sunhour			Annual Yield							
	73	74	75	76	77							
	0.85	0.42	0.00	0	0							
	0.02	0.08	-0.33	0.34	1.00							

### رابطه بین شرایط اقلیمی و ناحیه تولید زعفران

در این تحقیق اثر ۷۴ عامل اقلیمی بر روی تعیین ناحیه بررسی و در جدول ۳ آورده شد (از ۷۶ عامل ذکر شده در جدول، سال و عملکرد جزو شرایط اقلیمی نمی‌باشند). در این مرحله، به جهت اینکه هدف تعیین مدل نگاشت ناحیه جدید با عملکرد زعفران مجهول به یکی از نواحی با عملکرد از قبل معلوم می‌باشد میزان عملکرد در مدل‌ها در نظر گرفته نگردید. همانطور که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد تقریباً دمای میانگین، دمای حداقل و حداکثر همه ماه‌ها (عامل‌های ۱ تا ۳۶) در ناحیه‌هایی (شهرستان‌هایی) با متوسط عملکرد زعفران بالاتر، بیشتر است. از آنجایی که عامل‌های ۱ تا ۳۶، رابطه مثبت با ناحیه دارند، می‌توان انتظار داشت که نواحی با آب و هوای گرم‌تر مانند گناباد از عملکرد بالاتری نسبت به نواحی سردتر مانند نیشابور و قوچان برخوردار باشد. دامنه تغییرات دما نیز در نواحی که عملکرد زعفران بهتری دارند کمتر می‌باشد (عوامل ۳۷ تا ۳۹ با ناحیه رابطه منفی دارند)، همانند دمای میانگین و حداکثر و حداقل ماه‌ها، در مورد فصل‌ها نیز، این عوامل در نواحی با متوسط عملکرد زعفران بالاتر، بیشتر بود (رابطه مثبت عوامل ۴۹ تا ۶۰ با ناحیه).

رابطه رطوبت نسبی فصل‌ها با نواحی با متوسط عملکرد زعفران بیشتر، منفی بود و در نواحی با متوسط عملکرد زعفران بالاتر، رطوبت نسبی پایین‌تر است (عوامل ۶۱ تا ۶۴ رابطه منفی با ناحیه دارد). به عبارتی عملکرد در نواحی خشک‌تر بیشتر می‌باشد (جدول ۳). از آنجایی که متوسط تولید زعفران در نواحی گرم‌تر، بیشتر می‌باشد و معمولاً در این نواحی بارش فصلی نیز کمتر می‌باشد، رابطه عامل بارش با عملکرد منفی به دست آمد (عوامل ۶۵ تا ۶۸ با ناحیه رابطه منفی دارند) (جدول ۳). با توجه به رابطه مثبت ساعات آفتابی فصلی و سالیانه (عوامل ۷۰ تا ۷۴) با عملکرد (جدول ۳)، مشخص می‌گردد که به دلیل کاهش طول روزی که با حرکت به سمت شمال منطقه مورد مطالعه اتفاق می‌افتد، (با افزایش عرض جغرافیایی، طول روز کاهش می‌یابد)، میزان عملکرد سالیانه تولیدی کاهش خواهد یافت، محققین دیگری نیز به چنین نتایجی دست یافته‌اند (Gresta & Villon, 1995; Molina et al., 2004; Shirdeli & Tavassoli, 2015). نتایج فوق نشان می‌دهد که کشت زعفران در مناطقی با رطوبت نسبی بالا در تمام طول فصل رشد (مثل مناطق شمالی

کشور)، پاییز و زمستان‌های سرد و یخبندان (مناطق مرتفع و کوهستانی غرب کشور)، تابستان‌های خیلی گرم (مناطق جنوبی کشور)، بارش پاییزه زیاد (اواخر مهر تا اواخر آبان) در هنگام جمع‌آوری گل‌ها مناسب نخواهد بود و بالعکس مناطقی با آب و هوای خشک‌تر (با رطوبت نسبی پایین)، فصول پاییز، زمستان و تابستان ملایم‌تر (نه خیلی سرد و نه خیلی گرم)، بارش کافی (در حدود ۲۰۰ میلیمتر سالیانه) در اواخر فصل پاییز، در کل طول فصل زمستان و اوایل بهار (با بارش صفر تابستان) مستعد کشت این محصول می‌باشد نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش گردیده است (Gresta & Villon, 1995; Kamyabi et al., 2014; Shirdeli & Tavassoli, 2015; Molina et al., 2004).

### تعیین مدل مناسب جهت پیش‌بینی عملکرد سالیانه زعفران بر اساس شرایط اقلیمی

رگرسیون گام به گام، عامل‌های میانگین دمای ماه بهمن (عامل ۱۱) و حداکثر دمای فروردین (عامل ۱۳) را جزو عامل‌های مؤثر در نظر گرفت، ولی انتخاب متغیرهای مؤثر به روش رگرسیون گام به گام، ممکن است همیشه بهترین روش نباشند به‌طور مثال، با توجه به اینکه حداکثر دمای فروردین (عامل ۱۳) و اردیبهشت (عامل ۱۵) نیز بر عملکرد سالیانه زعفران تأثیر منفی دارند، انتخاب عامل حداکثر دمای بهار (عامل ۵۳) به جای عوامل ۱۱ و ۱۳، که می‌تواند اثر هر دو عامل حداکثر فروردین و اردیبهشت را به‌همراه داشته باشد ارجحیت بیشتری دارد. همچنین علاوه بر میانگین دمای بهمن (عامل ۱۱) بر طبق داده‌های جدول ۴، میانگین دمای ماه دی (عامل ۱۰) نیز تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دارد بنابراین می‌توان متغیر میانگین دمای زمستان (عامل ۵۲) را که اثر هر دو عامل میانگین دمای دی و بهمن را در خود جای دارد را جایگزین میانگین دمای بهمن نمود. با توجه به این موارد و همچنین اهمیت میانگین دمای فروردین، متغیرهای مؤثر ۱، ۵۲، ۵۳، ۶۳، ۶۷، ۶۹، ۷۲ و ۷۶ جایگزین متغیرهای مؤثر ۱۱، ۱۳، ۶۳، ۶۷، ۶۹ و ۷۲ گردید...



جدول ۳. رابطه بین شرایط اقلیمی و ناحیه تولید زعفران

Table 3. The relationship between climate and saffron producing region

میانگین دمای هوا Mean temperature												
	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد jun	تیر Jul	مرداد Aug	شهریور Sep	مهر Oct	آبان Nov	آذر December	دی Jan	بهمن Feb	اسفند March
شماره عامل Factor number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
مقدار p P value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.33	0.13	0.01
ضریب Coefficient	0.26	0.35	0.45	0.42	0.36	0.38	0.31	0.31	0.22	0.09	0.14	0.23
دمای فروردین April temperature												
		دمای اردیبهشت May temperature		دمای خرداد jun temperature		دمای تیر Jul temperature		دمای مرداد August temperature		دمای شهریور September temperature		
شماره عامل Factor number	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min
شماره عامل Factor number	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
مقدار p P value	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.00	0.04	0.00
ضریب Coefficient	0.19	0.31	0.24	0.45	0.29	0.54	0.23	0.54	0.15	0.53	0.20	0.49
دمای مهر October temperature			دمای آبان November temperature		دمای آذر December temperature		دمای دی January temperature		دمای بهمن February temperature		دمای اسفند March temperature	
شماره عامل Factor number	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min
شماره عامل Factor number	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
مقدار p P value	0.07	0.00	0.01	0.00	0.06	0.01	0.66	0.13	0.22	0.10	0.24	0.00
ضریب Coefficient	0.17	0.37	0.24	0.33	0.18	0.23	0.04	0.14	0.12	0.16	0.11	0.29
دامنه تغییرات دما Temperature variation range												
	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد jun	تیر Jul	مرداد Aug	شهریور Sep	مهر Oct	آبان Nov	آذر December	دی Jan	بهمن Feb	اسفند March

شماره عامل	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Factor number												
مقدار P	0.08	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.62	0.04	0.24	0.34
P value												
ضریب	-0.16	-0.12	-0.61	-0.61	-0.57	-0.56	-0.38	-0.11	-0.05	-0.19	-0.11	-0.09
Coefficient												
	دمای فصلی			دمای بهار		دمای تابستان		دمای پاییز		دمای زمستان		
	Seasonal temperature			Spring temperature		Summer		Autumn temperature		Winter temperature		
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
شماره عامل	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Factor number												
مقدار p	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.18	0.01
P value												
ضریب	0.37	0.42	0.36	0.19	0.23	0.45	0.20	0.55	0.27	0.36	0.13	0.23
Coefficient												
	رطوبت نسبی			بارش فصلی				آفتابی فصلی				
	Relative humidity			Seasonal rainfall				Seasonal sunhour				
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بارش سالیانه	بهار	تابستان	پاییز
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter		Spring	Summer	Autumn
شماره عامل	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Factor number												
مقدار p	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.17	0.01	0.34	0.00	0.00	0.56	0.00
P value												
ضریب	-0.50	-0.53	-0.60	-0.29	-0.24	-0.13	-0.23	-0.09	-0.28	0.33	0.05	0.41
Coefficient												
	آفتابی فصلی	آفتاب	سال	ناحیه	عملکرد							
	زمستان	سالیانه	Year	Area	سالیانه							
	Winter sunhour	Year sunhour			Annual Yield							
	73	74	75	76	77							
	0.00	0.00	0.07	0	0.00							
	0.49	0.54	-0.17	1	0.34							

جدول ۴. تأثیر انتخاب عامل‌های مختلف از بین عامل‌های تاثیرگذار بر میزان عملکرد سالانه زعفران به عنوان ورودی مدل

Table 4. Influence of selecting different factors from factors affecting the level of annual yield of saffron as the model input

مدل Model	انتخاب همه عامل‌های معنادار از جدول همبستگی Selecting all significant factors from correlation table				انتخاب عامل‌های معنادار زیر از جدول همبستگی Following the selection of meaningful correlation table {11 13 63 67 69 72}				انتخاب عامل‌های معنادار زیر از جدول همبستگی Following the selection of meaningful correlation table { 1 52 53 63 67 69 72 76}			
	$R^2$ آموزش Training	$R^2$ تست Test	MSE آموزش Training	MSE تست Test	$R^2$ آموزش Training	$R^2$ تست Test	MSE آموزش Training	MSE تست Test	$R^2$ آموزش Training	$R^2$ تست Test	MSE آموزش Training	MSE تست Test
Reg-Linear	0.23	0.18	0.29	0.61	0.20	0.20	0.36	0.40	0.21	0.20	0.36	0.37
Reg-purequad	0.25	0.14	0.20	0.73	0.21	0.18	0.34	0.45	0.23	0.21	0.35	0.41
Reg-interac	0.52	0.09	0.04	1.91	0.24	0.18	0.26	0.54	0.27	0.21	0.28	0.41
Reg-Linear	0.46	0.06	0.05	1.95	0.24	0.18	0.23	0.62	0.28	0.18	0.26	0.47
Neur-Net	0.23	0.2	0.35	0.51	0.23	0.21	0.37	0.41	0.21	0.20	0.37	0.49
pattern	0.22	0.21	0.37	0.47	0.20	0.19	0.41	0.48	0.20	0.20	0.42	0.42
<b>ClassDiscr</b>	<b>0.64</b>	<b>0.22</b>	<b>0.22</b>	<b>0.56</b>	<b>0.39</b>	<b>0.20</b>	<b>0.46</b>	<b>0.67</b>	<b>0.37</b>	<b>0.22</b>	<b>0.48</b>	<b>0.61</b>
ClassTree	0.70	0.19	0.26	0.67	0.63	0.20	0.33	0.67	0.62	0.21	0.35	0.61
Regtree	0.43	0.13	0.10	0.81	0.41	0.19	0.12	0.59	0.39	0.17	0.13	0.77
Forest	0.56	0.18	0.43	0.59	0.51	0.14	0.42	0.62	0.53	0.18	0.41	0.54
KNN	0.95	0.22	0.00	0.53	0.95	0.14	0.00	0.63	0.95	0.14	0.00	0.75
Svm-linear	0.13	0.12	0.67	1.43	0.13	0.12	1.12	1.38	0.14	0.14	1.04	1.20
Svm-poly	0.14	0.13	0.97	1.42	0.13	0.10	1.14	1.35	0.14	0.14	1.05	1.32
Svm-rbf	0.12	0.12	0.56	1.28	0.13	0.12	0.89	1.14	0.15	0.15	0.86	1.26
Svm-L2	0.13	0.13	0.54	0.56	0.10	0.10	0.56	0.61	0.10	0.09	0.57	0.59
Multi Svm	0.12	0.11	0.56	1.60	0.16	0.20	0.47	0.91	0.16	0.17	0.50	0.92
GMDH	0.21	0.15	0.34	0.47	0.20	0.17	0.36	0.53	0.20	0.18	0.39	0.69

و الگوریتم آموزش شبکه عصبی و نوع تابع اعمالی در لایه‌ها به کار رفته، تست‌های مختلفی انجام شده و در نهایت روش، تعداد لایه‌ها و تعداد نورون‌های موجود در هر لایه که بهترین پیش‌بینی را باعث گردید، انتخاب شد. در جدول ۵، تست‌هایی که ضریب تعیین و خطای کمتری داشته‌اند نشان داده شده است.

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که انتخاب بر اساس تجزیه و تحلیل پس از استفاده از روش رگرسیون گام به گام که عوامل ۱ و ۵۲ و ۵۳، جایگزین عوامل ۱۱ و ۱۳ گردیده و تأثیر ناحیه (عامل ۷۶) نیز لحاظ گردیده، مربع خطای متوسط (MSE) کاهش و ضریب تبیین ( $R^2$ ) افزایش یافته است. برای تعیین تعداد نورون‌ها در هر یک از لایه‌ها

جدول ۵. نتایج اعمال شبکه عصبی با تعداد لایه‌های میانی، تعداد نورون در هر لایه و روش آموزشی با بهترین عملکرد

**Table 5. The results of applying neural network hidden layer neurons, the number of neurons in each layer and teaching methods with the best performance**

الگوریتم Algorithm		<i>trainscg</i>		<i>trainbr</i>		<i>traingda</i>		<i>trainlm</i>	
تعداد نورون لایه اول The first layer neurons	تعداد نورون لایه دوم The second layer neurons	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE
2	0	0.11	0.81	0.13	0.78	0.13	0.81	0.15	0.76
2	3	0.15	0.75	0.12	0.73	0.14	0.72	0.17	0.68
2	5	0.16	0.71	0.17	0.71	0.17	0.68	0.18	0.65
4	0	0.14	0.77	0.11	0.75	0.14	0.73	0.16	0.67
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0.۲۰</b>	<b>0.38</b>	0.17	0.51	0.18	0.45	<b>0.20</b>	<b>0.30</b>
4	4	0.18	0.48	0.13	0.63	0.15	0.63	0.19	0.45
4	5	0.16	0.59	0.12	0.52	0.13	0.69	0.18	0.51
6	0	0.11	0.81	0.11	0.75	0.11	0.85	0.15	0.72
6	3	0.15	0.75	0.15	0.73	0.15	0.78	0.17	0.68
6	5	0.18	0.38	0.20	0.41	0.19	0.44	0.20	0.30
8	0	0.14	0.83	0.12	0.75	0.13	0.81	0.16	0.71
8	1	0.13	0.85	0.15	0.77	0.14	0.73	0.16	0.69
8	4	0.17	0.63	0.18	0.56	0.16	0.74	0.19	0.51
8	5	0.16	0.66	0.17	0.57	0.17	0.67	0.18	0.55
10	0	0.18	0.72	0.17	0.58	0.18	0.63	0.19	0.54
10	2	0.14	0.56	0.18	0.47	0.17	0.56	0.20	0.42
10	3	0.16	0.53	0.17	0.52	0.18	0.53	0.19	0.47
10	5	0.17	0.64	0.18	0.58	0.17	0.58	0.19	0.51

بررسی عوامل مؤثر در هر ناحیه و سال بصورت جداگانه در این تحقیق برای بررسی بیشتر برای هر منطقه بصورت جداگانه اثر ۷۶ فاکتور ذکر شده در جدول‌های قبلی بر عملکرد سالانه زعفران مورد بررسی قرار گرفت و فاکتورهایی که برای بیشتر نواحی (شهرستان‌ها) به طور معنی‌داری بین آنها و میزان عملکرد رابطه وجود داشت در جدول ۶ آورده شد. نتایج نشان داد که سال‌هایی که میانگین و حداکثر دمای فروردین بیشتر باشد، تولید زعفران کمتر خواهد بود (رابطه منفی). تولید بیشتر با افزایش دمای میانگین بهمن و میزان بارش کل نیز همراه

در نهایت از بین الگوریتم‌های لونیگ-مارکوات<sup>۱</sup>، شبکه با سرعت یادگیری متغیر<sup>۲</sup>، شبکه با الگوریتم گرادیان توأم مقیاس شده<sup>۳</sup> و الگوریتم با تنظیم به‌روش بی‌ز، الگوریتم لونیگ-مارکوات با دو لایه شامل ۴ نورون در لایه اول و ۲ نورون در لایه دوم، به عنوان الگوریتم برگزیده انتخاب گردید (جدول ۵).

1 - Trainlm  
2 - Traingda  
3 - Trainsca

خروجی این مدل‌ها یکی از ناحیه‌هایی خواهد بود که قبلاً بر اساس متوسط زعفران تولیدی در سال‌های مورد بررسی، مرتب و شماره‌گذاری گردیده است (جدول ۱). مدل‌های ارائه شده، بر اساس ورودی شرایط اقلیمی ناحیه‌ای (شهرستانی) که هنوز مناسب بودن آن برای تولید زعفران تست نگردیده و قرابت این شرایط اقلیمی به یکی از مناطق با عملکرد از پیش معلوم، به پیش‌بینی تولید نواحی مختلف و مستعد بودن یا نبودن آنها می‌پردازد. نتایج پیش‌بینی مدل‌های مختلف نواحی تولید زعفران بر اساس شرایط اقلیمی نشان می‌دهد که روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان خطی، ماشین‌بردار پشتیبان توابع شعاعی پایه و تحلیل ممیزی به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۵، ۰/۹۳ و ۰/۸۴ از دقت بالایی برخوردار بوده‌اند (جدول ۸).

است (رابطه مثبت). آمار داده‌های در دسترس نشان می‌دهد که کمترین میزان بارش و عملکرد برای تمامی نواحی (شهرستان‌ها) مربوط به سال ۱۳۸۷ می‌باشد. تحلیل همبستگی سال‌های یکسان نشان می‌دهد که تغییرات دما، رابطه منفی‌ای با تولید زعفران داشته و نواحی با طول ساعات آفتابی بیشتر از عملکرد بهتری برخوردار بوده‌اند (جدول ۷).

#### مدل پیش‌بینی نواحی تولید زعفران بر اساس شرایط اقلیمی

هدف این مرحله، ارائه مدل مناسبی است که با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی مشخص کند که این اقلیم به کدام یک از نواحی (شهرستان‌های) مورد بررسی، تعلق دارد. با این روش می‌توان مشخصات اقلیمی دیگر مناطق که مناسب بودن آنها برای تولید زعفران هنوز تست نشده است را به‌عنوان ورودی مدل‌های ارائه شده در نظر گرفت.

جدول ۶. عوامل موثر مشترک بین شهرستان‌ها (نواحی) پس از بررسی میزان همبستگی هر یک از عوامل در هر شهرستان بر میزان عملکرد سالیانه زعفران با  $p\text{-value} < 0.05$

Table 6. Common influencing factors between the counties (area) after examining the correlation of each factor in each county on the annual yield of saffron with  $p\text{-value} < 0.05$

	میانگین دمای فروردین	میانگین دمای بهمن	حداکثر دمای فروردین	حداقل دمای اردیبهشت	حداکثر دمای اردیبهشت	حداکثر دمای فروردین	تغییرات دمای اردیبهشت	تغییرات دمای فروردین	دمای فصل زمستان	دمای فصل بهار	حداقل دمای زمستان	حداقل دمای بهار	بارش سالیانه
	April temp mean	Feb temp mean	April max temp	May min temp	May max temp	Feb max temp	April Temp domain	May Temp domain	Winter Seasonal temp	Spring Seasonal temp	Spring min temp	Winter Seasonal temp	Yearly rainfall
شماره عامل Factor number	1	11	13	14	15	33	37	38	52	53	54	60	69
ضریب همبستگی Corolation coefficient	-0.63	0.55	-0.72	-0.62	-0.53	0.58	-0.57	-0.65	0.52	-0.69	-0.59	0.51	0.55

جدول ۷. عوامل موثر مشترک پس از اعمال همبستگی در عوامل در هر سال بر میزان عملکرد سالیانه زعفران با  $p\text{-value} < 0.05$

Table 7. Common influencing factors of solidarity actions in each year on the annual yield of saffron with  $p\text{-value} < 0.05$

	تغییرات دمای خرداد	تغییرات دمای تیر	تغییرات دمای مرداد	تغییرات دمای شهریور	ساعت آفتابی پاییز	ساعت آفتابی زمستان	ساعت آفتابی سالیانه
	Jun temp domain	Jul temp domain	August temp domain	Sep temp domain	Autumn sunhour	Winter sunhour	Yearly sunhour
شماره عامل Factor number	39	40	41	42	72	73	74
ضریب همبستگی Corolation coefficient	-0.59	-0.63	-0.68	-0.72	+0.65	+0.68	+0.62

جدول ۸. نتایج تست روش‌های مختلف برای پیش‌بینی نواحی تولید زعفران بر اساس شرایط اقلیمی

Table 8. The results of testing various methods to predict the saffron producing regions based on climatic conditions

روش method	ضریب تعیین آموزش Training coefficient of determination	ضریب تعیین تست Test coefficient of determination	متوسط مربع خطا آموزش Training Mean Square Error	متوسط مربع خطا تست Test Mean Square Error
Reg-Linear	0.40	0.21	0.09	0.36
purequad	0.57	0.21	0.04	0.78
reg-interac	0.54	0.25	0.05	0.44
Reg-Linear	0.56	0.28	0.04	0.40
Neur-Net	0.33	0.28	0.20	0.22
pattern	0.43	0.38	0.10	0.16
<b>ClassDiscr</b>	<b>1.00</b>	<b>0.84</b>	<b>0.00</b>	<b>0.18</b>
ClassTree	0.98	0.76	0.02	0.25
Regtree	0.91	0.69	0.01	0.17
Forest	0.97	0.68	0.02	0.24
KNN	1.00	0.66	0.00	0.26
<b>Svm-linear</b>	<b>1.00</b>	<b>0.95</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>
svm-poly	1.00	0.78	0.00	0.15
<b>Svm-rbf</b>	<b>1.00</b>	<b>0.93</b>	<b>0.00</b>	<b>0.03</b>
svm-L2	0.71	0.54	0.21	0.36
MultSvm	1.00	0.84	0.00	0.11
GMDH	0.42	0.38	0.13	0.21

## نتیجه‌گیری

که می‌توان از این روش‌های داده‌کاوی، با اطمینان مناسب‌تری جهت تعیین مناطق مستعد کشت و با اطمینان کمتری میزان عملکرد سالیانه زعفران را بر اساس شرایط اقلیمی استفاده نمود و در نهایت اینکه بین میزان عملکرد زعفران و ناحیه کشت همبستگی و ارتباط خوبی وجود دارد که با توجه به این همبستگی می‌توان اولاً با استفاده از روش‌های داده‌کاوی ابتدا ناحیه مناسب را تشخیص داده و ثانیاً میزان عملکرد منطقه را پیش‌بینی نمود.

نتیجه‌گیری کلی تحقیق این است که عوامل اقلیمی مخصوصاً دما تأثیر به‌سزایی در میزان عملکرد سالیانه زعفران مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت کشت و تعیین مستعد بودن سایر نقاطی که هنوز تحت کشت قرار نگرفته‌اند، دارد. از طرفی از آنجایی که تغییر اقلیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک شرق ایران، باعث افزایش میانگین دما، کاهش بارش، افزایش میزان تبخیر، افزایش میزان آب مصرفی و افزایش میزان مصرف انرژی می‌گردد و در نتیجه این تغییرات آب و هوایی، شروع و اتمام فصل سرما، تاریخ کشت، اولین آبیاری و گل‌دهی نیز دچار تغییر گردیده، طول دوره گل‌دهی کوتاه شده و اغلب با یک بی‌نظمی و سردرگمی غیرقابل پیش‌بینی در تقویم زراعی، میزان عملکرد دچار افت شدیدی می‌گردد (Abassi et al., 2010)، از طرفی دقت بالاتر نتایج پیش‌بینی مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان خطی، ماشین‌بردار پشتیبان توابع‌شعاعی‌بایه و تحلیل ممیزی نشان می‌دهد

- Abassi, F., Malbusi, S., Babaeian, I., Asmari, M., Borhani, R., 2010. Climate Change Prediction of South Khorasan Province During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Data. *Journal of Water and Soil* 24(2): 218-233. (In Persian with English Summary)
- Abrishami, M.H., 2009., Saffron cultivation. *Monthly Journal Baghzar* 35, 26-32. (In Persian with English Summary)
- Alavizade, S.A.M., Monazzam-Esmaeelpour, A., Hosseinzadeh-Kermani, M., 2013. Possibility study of areas with potential cultivation of saffron in Kashmar plain using GIS. *Saffron Agronomy & Technology journal* 1(1), 71-95. (In Persian with English Summary)
- Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J., 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. (In Persian with English Summary)
- Amir-Ghasemi, T., 2004. Saffron the red gold of Iran. Ayandegan publishing house, Tehran. (In Persian with English Summary)
- Arsalani, F., Rasouli, S.J., Asgharzade, A., 2015. The effects of meteorological factors (rainfall, temperature, relative humidity, freezing days and sunny hours) on yield of Saffron (*Crocus sativus L.*) in Kashmar and Ghaenat Towns. *Saffron Agronomy & Technology journal* 3(1), 66-75. (In Persian with English Summary)
- Behdani, M., 2006. Ecological zoning and performance monitoring saffron fluctuation in Khorasan. PhD dissertation, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).
- Behdani, M.A. Nassiri, M., Koocheki, A.A., 2003. Modeling saffron flowering time across a temperature gradient. In proceedings of 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology, Albacete, Spain, 22-25 October 2003. (In Persian with English Summary).
- Behnia, M, R., 1991. Saffron cultivation. The university publishing house of Tehran. (In Persian with English Summary).
- Blaauw, A, H., 1935. DePeriodieke on Twing Van Een Boliris, Verhadel-ingder Koninklijke Academia Van Wetensch Append Afdeeling.
- Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G.M., Siracusa, L., Ruberto, G., 2009. Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus L.*) as affected by environmental conditions. *Sci. Horti* 119, 320-324.
- Halevy, A.H., 1990. Recent Advance in Control of Flowering Habit of Geophytes, *Acta Horti* 266, 35-42.
- Han, J., Kamber, M., Pei, J., 2006. Concepts and techniques, Morgan kaufmann.
- Hashemlooyan, B., Ataie-Azimi, A., 2007. Saffron, scientific- specialized monthly of Olive, Islamic Azad University, Saveh unit 183, pp: 47-51. (In Persian with English Summary).
- Hosseini, M., Mollafilabi, A., 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. (In Persian with English Summary).
- Kafi, M., Kamkar, B., Mahdavi-Damghani, A.B., Lahuti, M., 2003. The reactions of agricultural plants to the growth environment, the publishing house of Mashhad Ferdowsi University. (In Persian with English Summary).
- Kamali, G.A., 1982. The bioclimatic plan of saffron in south of Khorasan , a review on 15 year researches of saffron in the research center of development and technology researches of Khorasan, pp. 10-14. (In Persian with English Summary).
- Kamyabi, S., Habibi-Nokhandan, M., Rouhi, A., 2014. Effect of climatic factors affecting saffron using analytic hierarchy process (AHP); (Case Study Roshtkhar Region, Iran). *Saffron Agronomy & Technology journal* 2(1), 75-90. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., Nassiri, M., Alizadeh, A., 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).
- Koozehgaran, S., Mousavi-Baygi, M., Sanaeinejad, H., 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).
- Mirzabayati, R., 2005. The Estimation of saffron-growing areas in neyshabour plain by GIS, thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree master of science Geography, University of Tarbiat Modarres, Tehran. (In Persian with English Summary).
- Molina, R.V., Garcia-Luis, A., Coll, V., Ferrer, C., Valero, M., 2004. Flower formation in the

- saffron Crocus (*Crocus sativus* L.), the role of temperature. *Acta Horti* 650, 39–47.
- Nekouei, N., Behdani, M.A., Khashei-Siuki, A., 2014. Predicting saffron yield from meteorological data using expert system, Razavi and South Khorasan Provinces. 2(1): 15-33.
- Nokandi, A., 1999. Climate effects on saffron planting in south of Khorasan, M.A thesis, Isfahan University. (In Persian with English Summary).
- Plessner, O., Ziv, M., 1990. Corn Production in Saffron Crocus, Department of Agricultural Botany.
- Rahmati, E., 2003. The function of environmental factors in production and function of saffron, Articles collection of the third national congress of saffron, The publishing house of Khorasan Research Organisation for Science & Technology, pp. 146-151. (In Persian with English Summary).
- Rashid-Sorkhabadi, M., Shahidi, A., Khashei-Siuki, A., 2016. Determining suitable places for saffron planting using fuzzy hierarchical analysis process in the city of Torbat Heydarieh. *Journal of saffron agronomy and technology*. 3(4): 261-272. (In Persian with English Summary).
- Shirdeli, A., Tavassoli, A., 2015. Predicting Yield and Water Use Efficiency in Saffron Using Models of Artificial Neural Network Based on Climate Factors and Water. *Saffron Agronomy & Technology journal* 3(2), 121-131. (In Persian with English Summary).
- Sing, J., and Villon, S.S., 1995. *Agricultural Geography*. translation: Siavash Dehghanian et al., The publishing house of Mashhad Ferdowsi University.
- Studentmund, A.H., 2005. *Using Econometrics: A Practical Guide*: Prentice Hall. 4th edition, 172.
- Tosan, M., Alizadeh, A., Ansari, H., Rezvani-Moghaddam, P., 2015. Evaluation of yield and identifying potential regions for Saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation in Khorasan Razavi province according to temperature parameters. *Saffron Agronomy & Technology journal* 3(1), 1-12. (In Persian with English Summary).





## Forecasting Saffron Yield Using Data Mining and Determining Climatic Parameters Influencing its Yield in the Province of Khorasan Razavi

Amir Salari<sup>1\*</sup>, Mehdi Bashiri<sup>2</sup> and Ali Maroosi<sup>3</sup>

1- Assistant Professor, Department of Plant Production, Agricultural Faculty, University of Torbat Heydarieh

2- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Torbat Heydarieh

3- Assistant Professor, Department of computer engineering and IT, Engineering faculty, University of Torbat Heydarieh

\*Corresponding Author E-mail: salari.1361@yahoo.com

Received 8 October 2016; Accepted 17 July 2017

### Abstract

Saffron is the world's most expensive plant and plays a significant role in economic and social conditions in arid and semi-arid areas, thus annual yield prediction of saffron is very important. In this study, the prediction of saffron annual yield and identification of suitable areas of culture based on climatic parameters and climatic parameters affecting the saffron yield using data mining in the province of Khorasan Razavi is introduced. The results showed that by increasing the average temperature of the cold months and decreasing the average temperature of warmer months, the crop yield increased. Increased rainfall and sunshine hours during the growing season resulted in enhanced yield. Saffron yield had the greatest negative correlation with maximum temperature of April, the lowest negative correlation with the maximum temperature in May and the greatest positive correlation with maximum temperature of February and the lowest correlation with the minimum winter temperature. The results showed that various data mining techniques predicted suitable areas for cultivation better than annual yield. Among the models used, linear support vector machine (SVM-linear), radial basis functions SVM (SVM-rbf) and classification discriminant models had a better performance than others and their determination coefficient were 0.95, 0.93 and 0.84, respectively. Moreover, a good correlation was obtained between the area of cultivation and the saffron yield.

**Key words:** Temperature, Support Vector Machine, Suitable Areas of Culture.