

## مقاله علمی کوتاه

# ارزیابی کارایی الگوریتم تنبل در تخمین عملکرد محصول زعفران بر اساس پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: بیرجند)

فهیمة خادم پور<sup>۱</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۲\*</sup> و محمدعلی بهدانی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱ بهمن ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: ۲۰ اسفند ۱۳۹۷

خادم پور، ف.، خاشعی سیوکی، ع.، و بهدانی، م.ع. ۱۳۹۹. ارزیابی کارایی الگوریتم تنبل در تخمین عملکرد محصول زعفران بر اساس پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: بیرجند). زراعت و فناوری زعفران، ۸(۲۱): ۳۰۴-۲۹۵.

### چکیده

زعفران به عنوان با ارزش ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران دارد. در حال حاضر، ایران بزرگترین تولید کننده و صادرکننده زعفران در جهان است، به طوری که بیش از ۹۳/۷ درصد تولید جهانی این محصول گران بها به ایران اختصاص دارد. اما علیرغم قدمت کشت زعفران و ارزش افزوده این محصول در مقایسه با بسیاری از محصولات زراعی رایج در کشور سهم کمتری از فناوری‌های نوین را به خود اختصاص داده و تولید آن عمدتاً بر دانش بومی متکی بوده است. پژوهش حاضر با هدف توسعه و ارزیابی کارایی مدل‌های KStar و LWL در محاسبه عملکرد محصول گیاه زعفران بر اساس پارامترهای اقلیمی انجام گرفته است. کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل‌ها با استفاده از آمار عملکرد این محصول و عوامل اقلیمی طی سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۹۸ صورت پذیرفت. به منظور ارزیابی مدل‌ها از شاخص‌های آماری ضریب تبیین ( $R^2$ )، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، ریشه متوسط خطای مربعات (RMSE) و نش-ساتکلیف (NSE) استفاده شد. از مدل‌های پیشنهادی، مدل KStar در سناریوی e با  $R^2 = 1/00$ ،  $MAE = 0/00$ ،  $RMSE = 0/00$  و  $NSE = 1/00$  می‌باشند که از دقت مناسبی در تخمین عملکرد گیاه زعفران داشت. این دقت بالای مدل KStar، باعث شده که بتوان به راحتی عملکرد زعفران را در مناطق مختلف زعفران کاری کشور بر اساس داده‌های موجود در ایستگاه‌های مختلف تخمین زد.

**کلمات کلیدی:** شاخص‌های آماری، گیاه زعفران، KStar، LWL.

۱ - دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

۲ - دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

۳ - استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

\*- نویسنده مسئول: [abbaskhashei@birjand.ac.ir](mailto:abbaskhashei@birjand.ac.ir)

## مقدمه

زعفران با نام علمی (*Corcus Sativus*) گیاهی از تیره زنبقیان است که یکی از گرانتترین ادویه‌های جهان به‌شمار می‌آید و ارزش غذایی و دارویی فراوانی دارد. زعفران به‌عنوان یک محصول استراتژیک در ایران به‌شمار می‌آید که سابقه زراعت آن به بیش از ۲۵۰۰ سال قبل بر می‌گردد. همچنین زعفران ارزشمندترین گیاه بومی ایران بوده و قدمت کشت آن در مناطق جنوبی و مرکزی خراسان به بیش از ۷۵۰ سال می‌رسد (Sadeghi, 1993). بررسی روند ۳۰ سال گذشته نشان می‌دهد که سطح زیر کشت زعفران حدود ۱۶ برابر افزایش یافته در حالی که میزان متوسط عملکرد در واحد سطح در حال حاضر حدود ۶۸ درصد ۳۰ سال قبل است که این موضوع جای بررسی دارد (Behdani et al., 2005). علی‌رغم تحمل‌پذیری بالای گیاه زعفران به شرایط کم‌آبی، تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر در مناطق مختلف دنیا رشد و عملکرد گیاهان را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. اثر تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط دنیا برای گیاهان زراعی مختلف مشخص شده است (Rosenzweig & Parry, 1994). این تأثیر مربوط به سه عامل غلظت  $CO_2$ ، بارندگی و درجه حرارت می‌باشد. نتایج بررسی‌های انجام شده در خصوص ارتباط داده‌های اقلیمی با عملکرد و سطح زیرکشت گیاهان زراعی بیانگر اثر تغییرات درجه حرارت و بارندگی بر میانگین و واریانس عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد، به طوری که می‌توان گفت، افزایش بارندگی باعث کاهش تغییرپذیری عملکرد گیاهان و افزایش درجه حرارت موجب افزایش تغییرپذیری عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Adams, 2000). در پژوهشی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی را برای پیش‌بینی مقدار اسیدهای آمینه در علوفه دامی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی با کارایی

بالتری رابطه بین اسیدهای آمینه و سایر اجزای تغذیه‌ای را نشان می‌دهند (Cravener & Roush, 2001). در پژوهشی دیگر، از دو روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی عملکرد گندم در ارتباط با مصرف کود ازته استفاده شد. نشان داد که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی روش جایگزین مناسبی برای تجزیه و تحلیل رگرسیونی می‌باشد (Wu & Yen, 1992). اکبرپور و همکاران (Akbarpour et al., 2013)، با استفاده از پارامترهای اقلیمی مثل بارندگی، دما و رطوبت کارایی شبکه عصبی را بر عملکرد زعفران در بیرجند مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که، شبکه عصبی پیشنهادی با ضریب همبستگی ۰/۹۵ میانگین قدر مطلق خطا ۰/۰۷ و میانگین مربعات خطا ۰/۲ از دقت مناسبی در تخمین عملکرد گیاه زعفران برخوردار است. همچنین، عملکرد محصول بیشترین حساسیت را به عامل بارندگی، سپس دما و در نهایت رطوبت دارد. خاشعی سیوکی (KhasheiSiuki et al., 2016)، به کاربرد روش تاگوچی در ارزیابی سبز شدن زعفران تحت تأثیر زئولیت و برنامه‌ریزی آبیاری پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان به منظور صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها، از روش تاگوچی در اجرای طرح‌های آزمایشی به منظور بررسی سبز شدن گیاهان زراعی استفاده نمود. افتاده فدافن و همکاران (Oftadeh- Fadafen et al., 2016)، اثر سطوح مختلف نیتروکسین و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی زعفران را بررسی کردند. نتایج بیانگر تأثیر مثبت نیتروکسین و ورمی‌کمپوست بر عملکرد کمی و خصوصیات رشدی زعفران بود. مزابری و همکاران (Mzabri et al., 2017)، به ارزیابی پارامتر عملکرد زعفران از خوشه‌های مقاوم به زیست‌محیطی ذخیره شده در دمای پایین پرداختند. نتایج نشان داد که تعداد گل، عملکرد، طول و تعداد برگ با افزایش دوره ذخیره‌سازی

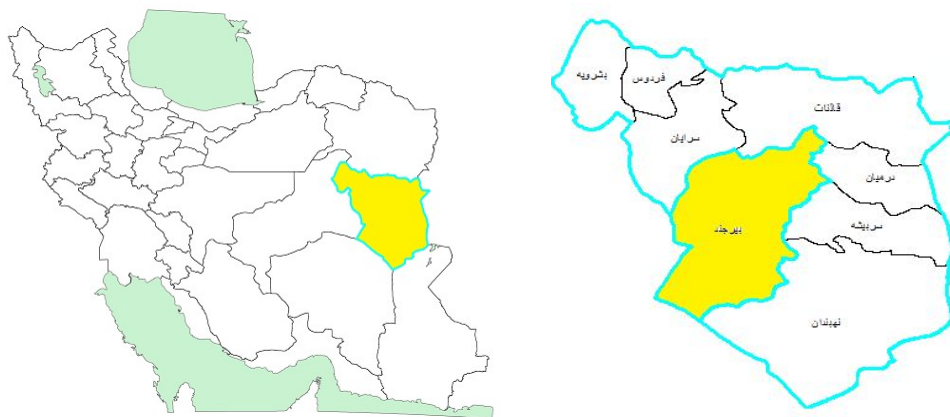
اطلاعات عملکرد محصول به عنوان خروجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. در این مطالعه، دو مدل KStar و LWL تحت سناریوهای مختلف بررسی گردید.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

استان خراسان جنوبی یکی از قطب‌های تولید زعفران در کشور می‌باشد. این استان از شرایط اقلیمی خشک و بیابانی است ولی با توجه به نحوه قرار گرفتن مناطق پست یا مرتفع به دو دسته آب و هوای خشک و گرم و آب و هوای خشک و ملایم تقسیم می‌شود. این مطالعه در شهرستان بیرجند با طول جغرافیایی ۵۹/۲ و عرض جغرافیایی ۳۲/۹ با ارتفاع ۱۵۰۴ و با اقلیم خشک انجام شده است. آمار داده‌های هواشناسی در دوره ۱۹۹۸-۲۰۱۷ میلادی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند از سازمان هواشناسی و آمار عملکرد زعفران بر حسب کیلوگرم بر هکتار برای این دوره‌ی زمانی از سازمان جهاد کشاورزی دریافت شد. همچنین، میانگین عملکرد طی دوره‌ی آماری مورد بررسی، ۴/۴۸ کیلوگرم بر هکتار بوده است.

سرد افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت زعفران از نظر اقتصادی، صادرات، اشتغال‌زایی و کاربردهای دارویی، پیش‌بینی عملکرد دقیق‌تر آن از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. همچنین، امکان تصمیم‌گیری متناسب توسعه‌ای براساس پتانسیل‌های منطقه‌ای را فراهم می‌آورد که پیش‌بینی اعتبار لازم جهت خرید تضمینی این محصول و یا فراهم آوردن تمهیدات لازم جهت تأمین نیروی کارگری مورد نیاز به ویژه در فصل برداشت زعفران از مهم‌ترین این موارد می‌باشد. از طرف دیگر پیش‌بینی دقیق‌تر عملکرد زعفران، تضمین‌کننده منافع کلیه دست‌اندرکاران این صنعت بوده و در نهایت توانسته منافع ملی کشور را تأمین کند. با توجه به اینکه پیش‌بینی عملکرد زعفران در بیرجند در مقیاس سالانه (۲۰۱۷-۱۹۹۸) با نرم افزار WEKA در ایران تاکنون انجام نشده است، بنابراین این پژوهش در بیرجند صورت گرفته است. لذا، توانایی مدل‌های مختلف شبیه‌سازی نرم‌افزار WEKA در پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از داده‌های هواشناسی شامل، مجموع حداقل دمای روزانه، مجموع حداکثر دمای روزانه، مجموع رطوبت نسبی روزانه، مجموع بارندگی و تبخیر/تعرق بودند که به عنوان ورودی مدل و



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه مطالعاتی  
Figure 1 - Geographic location of the study station.

جدول ۱- خصوصیات آماری پارامترهای مورد استفاده  
Table 1- Statistical characteristics of the parameters used

پارامتر Parameter	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Average	انحراف از معیار Standard deviation	ضریب تغییرات Coefficient of variation
مجموع دمای حداقل (°C) Total minimum temperature	2680.80	3401.40	3151.59	210.20	0.07
مجموع دمای حداکثر (°C) Total maximum temperature	8381.50	9554.20	8986.77	290.04	0.03
مجموع رطوبت نسبی (%) Total relative humidity	1900.28	2323.28	2089.24	97.12	0.05
مجموع بارندگی (mm) Total rainfall	71.40	220.00	146.25	42.44	0.29
مجموع تبخیرتعرق (mm.d <sup>-1</sup> ) Total Evapotranspiration	1351.55	1889.77	1580.49	173.36	0.11
مجموع عملکرد زعفران (kg.ha <sup>-1</sup> ) Total yield of saffron	1.93	7.06	4.48	1.09	0.24

حاضر، این نرم‌افزار حاوی تعداد زیادی از تکنیک‌های یادگیری ماشین و داده‌کاوی است که امکان مقایسه تکنیک‌های یادگیری ماشین مختلف را می‌دهد. در یک واسط کاربر گرافیکی در این نرم‌افزار اجازه دسترسی به قابلیت‌هایی مثل تجسم و تحلیل بسیاری از الگوریتم‌های داده‌کاوی وجود دارد (Witten & Frank, 2005). ویژگی‌های عمده این نرم‌افزار شامل، ۴۹ ابزار پردازش داده‌ای، ۷۶ الگوریتم دسته‌بندی رگرسیون، ۸ الگوریتم خوشه‌بندی، ۱۵ مشخصه ارزیاب و ۱۰ الگوریتم جستجو برای انتخاب ویژگی، ۳ الگوریتم برای یافتن قواعد انجمنی و ۳ واسط گرافیکی به صورت The Explorer، The Experimenter و The Knowledge Flow می‌باشد.

#### روش KStar

یک روش طبقه‌بندی مبتنی بر مثال است که بر اساس موارد آموزشی مشابه، طبقه‌بندی را انجام می‌دهد و در مقایسه با الگوریتم‌های ماشین یادگیری، نتایج مطلوبی را حاصل می‌نماید. این روش برخلاف دیگر روش‌های داده‌کاوی که بر اساس تابع فاصله مبنی بر آنروپی، طبقه‌بندی را انجام می‌دهند، از تابع شباهت برای تخمین متغیرهای مختلف استفاده می‌کند. فرض اصلی طبقه‌بندی مبتنی بر مثال، این است که موارد مشابه

داده‌های هواشناسی در این پژوهش شامل، مجموع حداقل دمای روزانه، مجموع حداکثر دمای روزانه، مجموع رطوبت نسبی روزانه، مجموع بارندگی و تبخیرتعرق بودند که به عنوان ورودی مدل و اطلاعات عملکرد محصول به عنوان خروجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، مقادیر میانگین عوامل اقلیمی مذکور برای دوره مطالعاتی در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۱ موقعیت ایستگاه مورد مطالعه را در سطح کشور نشان می‌دهد.

#### نرم‌افزار WEKA<sup>۱</sup>

این نرم‌افزار اولین بار در سال ۱۹۹۲ به منظور جمع‌آوری و یکپارچگی الگوریتم‌های یادگیری ماشین و ابزاری برای پردازش داده‌ای با استفاده از جاوا<sup>۲</sup> پیاده‌سازی و به صورت کد باز تحت مجوز عمومی<sup>۳</sup> GNU GPL انتشار گردید و در سال ۱۹۹۳ ویتن و فرانک (Witten & Frank, 2000) با بکارگیری اهداف داده-کاوی آن را ارتقا دادند و توسط دولت نیوزیلند با مقاصد پژوهشی نیز مورد حمایت مالی قرار گرفت. البته واژه WEKA نام پرنده‌ای بومی است که فقط در آن منطقه وجود داشته و دارای خصوصیات کنجکاوی است (Witten & Frank, 2000). در حال

1- Waikato Environment for Knowledge Analysis  
2- Java  
3- GNU General Public License

کلاس‌های مشابه داشته باشد (Cleary & Trigg, 1995).

وزن دار کردن را (خطی، معکوس یا گوسی) مشخص می‌کند، تعیین نمود (Ataee, 2007). به منظور مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌های تنبل KStar و LWL در پیش‌بینی عملکرد زعفران، ۲۰ سناریو با توجه به پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد زعفران، مانند مجموع حداقل دمای روزانه، مجموع حداکثر دمای روزانه، مجموع رطوبت نسبی روزانه، مجموع بارندگی و تبخیر-تعرق تعریف شد. در جدول ۲، پارامترهای ورودی در هر سناریو ارائه گردید. برای بهره‌گیری از الگوریتم‌های تنبل KStar و LWL از نرم‌افزار WEKA 3.8 استفاده شده است.

**روش LWL**

یک الگوریتم کلی برای یادگیری وزن‌دار شده به صورت محلی است. این الگوریتم با استفاده از روشی وزن‌ها را به نمونه-ها نسبت می‌دهد و از روی نمونه‌های وزن‌دار شده، رده‌بندی را می‌سازد. این مدل برای مسائل طبقه‌بندی، رده‌بند Nave Bayes و برای مسائل رگرسیون، رگرسیون خطی انتخاب‌های خوبی هستند. می‌توان در این الگوریتم، تعداد همسایه‌های مورد استفاده را که پهنای باند هسته و شکل هسته مورد استفاده برای

**جدول ۲- پارامترهای ورودی در سناریوهای مختلف**  
**Table 2- Input parameters in different scenarios**

سناریو Scenario	پارامترهای ورودی Input parameters
a	$T_{minbahr}, T_{mintabestan}, T_{minpaeiz}, T_{minzemestan}, T_{maxbahr}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaeiz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
b	$T_{mintabestan}, T_{minpaeiz}, T_{minzemestan}, T_{maxbahr}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaeiz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
c	$T_{minpaeiz}, T_{minzemestan}, T_{maxbahr}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaeiz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
d	$T_{minzemestan}, T_{maxbahr}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaeiz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
e	$T_{maxbahr}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaeiz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
f	$T_{maxtabestan}, T_{maxpaeiz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
g	$T_{maxpaeiz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
h	$T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
i	$P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
j	$P_{tabestan}, P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
k	$P_{paeiz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
L	$P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
m	$ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
n	$ET_{tabestan}, ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
o	$ET_{paeiz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
p	$ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
q	$RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
r	$RH_{tabestan}, RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
s	$RH_{paeiz}, RH_{zemestan}, Yield$
t	$RH_{zemestan}, Yield$

صورت فصلی در نظر گرفته شوند. علامت  $T_{min bahar}$  مجموع دمای حداقل در فصل بهار،  $T_{min tabestan}$  مجموع دمای حداقل در فصل تابستان،  $T_{min paeiz}$  مجموع دمای حداقل در فصل پاییز،  $T_{min zemestan}$  مجموع دمای حداقل در فصل زمستان،  $T_{max bahar}$

در جدول ۲، در این مرحله با استفاده از پارامترهای هواشناسی موجود ( $T_{min}, T_{max}, P, ET, RH$ ) و با در نظر گرفتن تمامی پارامترها در ترکیب‌ها، ۲۰ ترکیب ورودی مختلف انتخاب شد. در این پژوهش سعی گردید پارامترهای هواشناسی به

که در آن،  $N$  تعداد کل داده‌ها،  $X_i$  داده‌های شبیه‌سازی شده،  $Y_i$  داده‌های مشاهداتی،  $i$  گام‌های زمانی و  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین داده‌های  $X$  و  $Y$  می‌باشد.

### نتایج و بحث

هدف اصلی این پژوهش، انتخاب بهترین مدل برای پیش-بینی عملکرد زعفران در بیرجند با استفاده از پارامترهای هواشناسی است. بهترین ترکیب‌ها برای هر دو مدل به صورت جداگانه بر اساس شاخص‌های ارزیابی در جدول ۳ و ۴ آورده شده‌اند. همچنین، شاخص‌های آماری به دست آمده از دو مدل مذکور در جدول ۵ و ۶ نمایش داده شد. در جدول ۵ و ۶، بهترین مدل پیش‌بینی برای هر سناریو برحسب بالا بودن ضریب تبیین و پایین بودن مقادیر خطا مشخص شده است و بهترین سناریوها به ترتیب رتبه مشخص گردیدند. بنابراین، سناریوی e شامل ( $T_{\max \text{ bahar}}$  مجموع دمای حداکثر در فصل بهار،  $T_{\max \text{ tabestan}}$  مجموع دمای حداکثر در فصل تابستان،  $T_{\max \text{ paeiz}}$  مجموع دمای حداکثر در فصل پاییز،  $T_{\max \text{ zemestan}}$  مجموع دمای حداکثر در فصل زمستان،  $P_{\text{bahar}}$  نشان‌دهنده‌ی مجموع بارندگی در فصل بهار،  $P_{\text{tabestan}}$  مجموع بارندگی در فصل تابستان،  $P_{\text{paeiz}}$  مجموع بارندگی در فصل پاییز،  $P_{\text{zemestan}}$  مجموع بارندگی در فصل زمستان،  $ET_{\text{bahar}}$  مجموع تبخیر-تعرق در فصل بهار،  $ET_{\text{tabestan}}$  مجموع تبخیر-تعرق در فصل تابستان،  $ET_{\text{paeiz}}$  مجموع تبخیر-تعرق در فصل پاییز،  $ET_{\text{zemestan}}$  مجموع تبخیر-تعرق در فصل زمستان،  $RH_{\text{bahar}}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل بهار،  $RH_{\text{tabestan}}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل تابستان،  $RH_{\text{paeiz}}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل پاییز،  $RH_{\text{zemestan}}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل زمستان و  $Yield$  عملکرد زعفران) در مدل KStar و سناریوی a شامل ( $T_{\min \text{ bahar}}$  مجموع دمای حداقل در فصل بهار،  $T_{\min \text{ tabestan}}$  مجموع دمای حداقل در فصل تابستان،

مجموع دمای حداکثر در فصل بهار،  $T_{\max \text{ tabestan}}$  مجموع دمای حداکثر در فصل تابستان،  $T_{\max \text{ paeiz}}$  مجموع دمای حداکثر در فصل پاییز،  $T_{\max \text{ zemestan}}$  مجموع دمای حداکثر در فصل زمستان،  $P_{\text{bahar}}$  نشان‌دهنده‌ی مجموع بارندگی در فصل بهار،  $P_{\text{tabestan}}$  مجموع بارندگی در فصل تابستان،  $P_{\text{paeiz}}$  مجموع بارندگی در فصل پاییز،  $P_{\text{zemestan}}$  مجموع بارندگی در فصل زمستان،  $ET_{\text{bahar}}$  مجموع تبخیر-تعرق در فصل بهار،  $ET_{\text{tabestan}}$  مجموع تبخیر-تعرق در فصل تابستان،  $ET_{\text{paeiz}}$  مجموع تبخیر-تعرق در فصل پاییز،  $ET_{\text{zemestan}}$  مجموع تبخیر-تعرق در فصل زمستان،  $RH_{\text{bahar}}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل بهار،  $RH_{\text{tabestan}}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل تابستان،  $RH_{\text{paeiz}}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل پاییز،  $RH_{\text{zemestan}}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل زمستان و  $Yield$  عملکرد زعفران می‌باشد.

#### ارزیابی عملکرد مدل

در پایان جهت ارزیابی و آزمون اعتبار مدل KStar و LWL، به ارزیابی عملکرد آن‌ها پرداخته شد. برای ارزیابی عملکرد این مدل‌ها از آماره‌های ریشه متوسط خطای مربعات (RMSE)، متوسط قدر مطلق خطا (MAE)، معیار نش-ساتکلیف (NSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) مطابق با رابطه ۱ تا ۴ استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{N} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))^2}{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2)(\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)} \quad (4)$$

$T_{min\ paciz}$  مجموع دمای حداقل در فصل پاییز،  $T_{min}$  تبخیر تعرق در فصل بهار،  $ET_{tabestan}$  مجموع تبخیر تعرق در فصل تابستان،  $ET_{paciz}$  مجموع تبخیر تعرق در فصل پاییز،  $ET_{zemestan}$  مجموع تبخیر تعرق در فصل زمستان،  $RH_{bahar}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل بهار،  $RH_{tabestan}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل تابستان،  $RH_{paciz}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل پاییز،  $RH_{zemestan}$  مجموع رطوبت نسبی در فصل زمستان،  $P_{bahar}$  نشان دهنده‌ی مجموع بارندگی در فصل بهار،  $P_{tabestan}$  مجموع بارندگی در فصل تابستان،  $P_{paciz}$  مجموع بارندگی در فصل پاییز،  $P_{zemestan}$  مجموع بارندگی در فصل زمستان،  $ET_{bahar}$  مجموع

جدول ۳- نتایج مدل KStar برای تعیین مدل‌های بهینه جهت پیش‌بینی عملکرد زعفران

Table 3- Results of KStar model for determining optimal models for saffron performance prediction

سناریو Scenario	پارامترهای ورودی Input parameters
a	$T_{minbahar}, T_{mintabestan}, T_{minpaciz}, T_{minzemestan}, T_{maxbahar}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
c	$T_{minpaciz}, T_{minzemestan}, T_{maxbahar}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
d	$T_{minzemestan}, T_{maxbahar}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
e	$T_{maxbahar}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
f	$T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
h	$T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
i	$P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
j	$P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
k	$P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
m	$ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$

جدول ۴- نتایج مدل LWL برای تعیین مدل‌های بهینه جهت پیش‌بینی عملکرد زعفران

Table 4- Results of LWL model for determining optimal models for saffron performance prediction

سناریو Scenario	پارامترهای ورودی Input parameters
a	$T_{minbahar}, T_{mintabestan}, T_{minpaciz}, T_{minzemestan}, T_{maxbahar}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
b	$T_{mintabestan}, T_{minpaciz}, T_{minzemestan}, T_{maxbahar}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
c	$T_{minpaciz}, T_{minzemestan}, T_{maxbahar}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
d	$T_{minzemestan}, T_{maxbahar}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
e	$T_{maxbahar}, T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
f	$T_{maxtabestan}, T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
g	$T_{maxpaciz}, T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
h	$T_{maxzemestan}, P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
i	$P_{bahar}, P_{tabestan}, P_{paciz}, P_{zemestan}, ET_{bahar}, ET_{tabestan}, ET_{paciz}, ET_{zemestan}, RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$
q	$RH_{bahar}, RH_{tabestan}, RH_{paciz}, RH_{zemestan}, Yield$

جدول ۵- نتایج مدل KStar در پیش‌بینی عملکرد زعفران  
Table 5- Results of KStar model in prediction of saffron yield

رتبه Rating	سناریو Scenario	آموزش Training			آزمایش Testing		
		R <sup>2</sup>	MAE (Kg.ha <sup>-1</sup> )	RMSE (Kg.ha <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	MAE (Kg.ha <sup>-1</sup> )	RMSE (Kg.ha <sup>-1</sup> )
1	e	1.0000	0.0000	0.0000	0.9888	1.3990	2.1036
2	m	1.0000	0.0000	0.0000	0.9791	1.0274	1.4841
3	k	1.0000	0.0000	0.0000	0.9781	1.3754	2.0895
4	f	1.0000	0.0000	0.0000	0.9588	1.5623	2.1330
5	d	1.0000	0.0000	0.0000	0.9415	1.4927	2.1246
6	h	1.0000	0.0000	0.0000	0.9409	1.3307	2.0876
7	j	1.0000	0.0000	0.0000	0.9361	1.3292	2.0872
8	i	1.0000	0.0000	0.0000	0.9262	1.3178	2.0871
9	c	1.0000	0.0000	0.0000	0.9251	1.5180	2.1350
10	a	1.0000	0.0000	0.0000	0.9033	1.5450	2.1481

جدول ۶- نتایج مدل LWL در پیش‌بینی عملکرد زعفران  
Table 6- Results of LWL model in prediction of saffron yield

رتبه Rating	سناریو Scenario	آموزش Training			آزمایش Testing		
		R <sup>2</sup>	MAE (Kg.ha <sup>-1</sup> )	RMSE (Kg.ha <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	MAE (Kg.ha <sup>-1</sup> )	RMSE (Kg.ha <sup>-1</sup> )
1	a	0.9168	0.2497	0.2784	0.4755	1.0964	1.9128
2	b	0.9105	0.2674	0.2901	0.3541	0.6974	1.1212
3	f	0.9044	0.2690	0.2940	0.3217	0.7142	1.1336
4	e	0.9019	0.2724	0.2974	0.3483	0.6984	1.1175
5	d	0.9004	0.2751	0.2990	0.3307	0.7026	1.1255
6	g	0.8976	0.2745	0.3027	0.0087	0.7599	1.1500
7	c	0.8921	0.2924	0.3120	0.0821	0.7527	1.1390
8	h	0.8904	0.2836	0.3130	0.0136	0.7536	1.1500
9	q	0.8902	0.2785	0.3176	0.8279	0.7979	1.1612
10	i	0.8870	0.2906	0.3235	0.3048	0.7002	1.1265

میان آن‌ها، مقادیر ضریب تبیین و شیب بهترین خط عبوری محاسبه و نشان داده شد. بدیهی است هرچه ضریب تبیین داده‌ها بالاتر باشد و نیز شیب بهترین خط عبوری از آن‌ها به یک نزدیک‌تر باشد دقت پیش‌بینی مدل بیشتر است (شکل ۲). از بین سناریوهای ورودی به مدل KStar سناریوی e (مجموع دمای حداکثر، بارندگی، تبخیرتعرق و رطوبت نسبی هر کدام در هر چهار فصل) دارای بهترین ضریب تبیین و شیب خط ( $R^2=1/00$ ،  $RMSE=0/00$  و  $MAE=0/00$ ) می‌باشد، و این بیانگر این امر است که دمای حداکثر، بارندگی، تبخیرتعرق و رطوبت نسبی ارتباط نزدیکی با عملکرد زعفران داشته است. همچنین، سناریوی m (تبخیرتعرق و رطوبت نسبی هر کدام در هر چهار

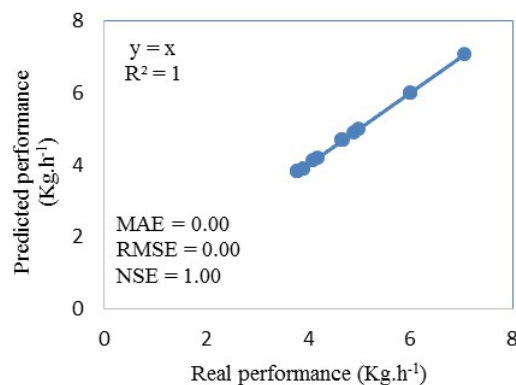
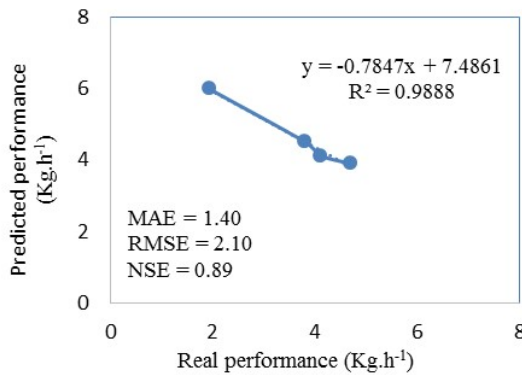
انتخاب بهترین مدل

مطالعه مقایسه‌ای بین دو مدل نشان می‌دهد که هر دو مدل می‌توانند کاملاً برای برآورد میانگین عملکرد زعفران استفاده گردد. بنابراین لازم است که بهترین مدل را برای پیش‌بینی میانگین عملکرد زعفران با حداقل خطا پیدا کرد. از تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمد که مدل KStar در سناریوی e دارای ضریب تبیین و خطای مطلوب‌تری نسبت به مدل LWL می‌باشد. باشد که این نشان می‌دهد کارایی مدل KStar بهتر می‌باشد. بنابراین، در این پژوهش مطلوب‌ترین مدل KStar می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد مطلوب‌ترین مدل (KStar)، نتایج حاصل از این مدل (عملکرد پیش‌بینی شده) در برابر داده‌های اندازه‌گیری شده (عملکرد مشاهده شده)، ترسیم و با برازش بهترین خط عبوری از



پیاز زعفران می‌باشد و تغییرات دمای روزانه به عنوان عامل محیطی نشان دهنده زمان گلدهی است، که در سناریوی e که بارندگی، دما و یا ترکیبی از این دو پارامتر اقلیمی استفاده شده بیشترین  $R^2$  و کمترین RMSE و MAE (بهترین نتیجه) حاصل شده است. خاشعی و همکاران (KhasheiSiuki et al., 2016)، به پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از داده‌های هواشناسی به وسیله شبکه عصبی مصنوعی در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد که، بهترین سناریو دارای مجموع دمای حداکثر سه ماه مهر و آبان و آذر، بارندگی، تبخیرتعرق، رطوبت نسبی فصل پاییز و عملکرد سال قبل) دارای بهترین ضریب همبستگی و شیب خط ( $R^2=0.8832$ , RMSE  $=0.689 \text{ Kg.ha}^{-1}$  و  $\text{MAE}=0.56 \text{ Kg.ha}^{-1}$ ) بوده و بیانگر این امر است که دمای حداکثر، بارندگی، تبخیرتعرق و رطوبت نسبی در ماه پاییز ارتباط نزدیکی با عملکرد زعفران داشته است.

فصل) در رتبه دوم قرار دارد که بیانگر این است که تبخیرتعرق و رطوبت نسبی در این سناریو نسبت به دمای حداقل و حداکثر تأثیر بیشتری بر عملکرد زعفران داشته است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که، بارندگی و درجه حرارت، به خصوص درجه حرارت حداقل و حداکثر و بارندگی در فصل پاییز بیشترین تأثیر را روی عملکرد زعفران می‌گذارند، زیرا گیاه زعفران بیشترین تطابق را با الگوی بارندگی دارد. مکان‌هایی که  $400-300$  میلی متر بارندگی دارند و در طول فصل زمستان پوشیده از برف می‌باشند، برای کشت زعفران مناسب هستند. فعالیت این گیاه با شروع بارندگی‌های پاییزه آغاز و با اتمام بارندگی‌های بهاره خاتمه می‌یابد در نتیجه بارندگی یا به عبارتی نزولات جوی بیشترین تأثیر را بر رشد این گیاه دارد (Behdani et al., 2005). از آنجایی که زعفران برعکس بسیاری از گیاهان دارای رژیم حرارتی متفاوتی است و معمولاً آغاز فعالیت این گیاه با شروع فصل سرما همراه است، دما مهمترین عامل در تنظیم گل‌های



شکل (۲-ب) سناریوی e مدل KStar در مرحله آزمایش  
Figure (2b)- The scenario e of the KStar model at the testing stage.

شکل (۲-الف) سناریوی e مدل KStar در مرحله آموزش  
Figure (2a)- KStar model scenario in the training phase

شکل ۲- نتایج مربوط به سناریوی e در مدل KStar در پیش‌بینی عملکرد زعفران  
Figure 2- The results of the scenario e in the KStar model for predicting the yield of saffron.

بالا می‌توان دریافت که مدل KStar، مقدار عملکرد زعفران را با دقت بالایی پیش‌بینی می‌کند. همچنان که مشاهده می‌شود ضرایب تبیین و شیب خط‌های عبوری بسیار به یک نزدیک

## نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، پیش‌بینی عملکرد زعفران و ارزیابی و کارایی مدل‌های WEKA است که با توجه به نتایج

KStar، باعث شده که بتوان به راحتی عملکرد زعفران را در مناطق مختلف زعفران کاری کشور بر اساس داده‌های موجود در ایستگاه‌های مختلف تخمین زد.

است و این نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده دارای حداکثر انطباق با مقادیر مشاهده شده می‌باشد که این مطلب، دقت بالای مدل KStar را به اثبات می‌رساند. دقت بالای مدل

## منابع

- Adams, R.M. 2000. Climate variability and climate change: Implications for agriculture. IRI Proceedings. Oregon State University, U.S.A.
- Akbarpour, A., Kharashadizadeh, O., Shahidi, A., and Ghochanian, E. 2013. Performance evaluation of artificial neural network models in estimate production of yield saffron based on climate parameters. Journal Saffron Research 1 (1): 27-35. (In Persian with English Summary).
- Ataee, Sh. 2007. Data WEKA Software. University of Science and Technology, Iran, College of Raliway Engineering. (In Persian).
- Behdani, M.A. Koocheki, A.R., Nassiri Mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P. 2005. Evaluating the relationships between revenue and consumption of nutrients in *Crocus sativus*. Iran Journal Field Crop Resource. (In Persian with English Summary).
- Cleary, J.G., and Trigg, L.E. 1995. An Instance-based learner using an entropic distance measure. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Machine Learning. pp.108-114.
- Cravener, T.L., and Roush, W.B. 2001. Prediction of amino acid profiles in feed ingredients: genetic algorithm calibration of artificial neural networks. Journal Animal Feed Science Technology 90: 131-141.
- Oftadeh- Fadafen, A., Aminifard, M.H., Behdani, M.A., and Moradinezhad, F. 2016. Evaluation of nitroxin and vermicompost on quantitative characteristics and photosynthetic pigments of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal Saffron Research 5 (2): 163-179. (In Persian with English Summary).
- KhasheiSiuki, A., Hashemi, S.R., and Ahmadee, M. 2016. Application of the Taguchi approach in the evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) emergence affected by Zeolite and Irrigation scheduling. Journal of Saffron Research 4 (2): 266-278. (In Persian with English Summary).
- Mzabri, I., Legsayer, M., Chetouani, M., Aamar, A., and Kouddane, N. 2017. Saffron (*Crocus sativus* L.) yield parameter assessment of abiotic stressed corms stored in low temperature. Journal of Materials and Environmental Sciences 8 (10): 3588-3597.
- Rosenzweig, C., and Parry, M.L. 1994. Potential impacts of climate change on world food supply. Nature 367: 133-138.
- Sadeghi, B. 1993. Effect of Corm Weight on Saffron Flower Collection. Publication of Scientific Resource- Technology Research Center of Khorasan.
- Witten, I.H., and Frank, E. 2000. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations, Morgan Kaufmann Publishers.
- Witten, I.H., and Frank, E. 2005. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.
- Wu, F.Y., and Yen, K.K. 1992. Application of neural network in regression analysis. Computer and Industrial Engineering 23: 93-95.

---

Short Communication

## Evaluation of the efficiency of Lazy Algorithm in Estimating Yield of Saffron Based on Climatic Parameters

*Fahime Khadempour<sup>1</sup>, Abbas KhasheiSiuki<sup>2\*</sup> and Mohammad Ali Behdani<sup>3</sup>*

**Submitted:** 11 March 2019

**Accepted:** 21 January 2020

Khadempour, F., KhasheiSiuki, A., and Behdani, M.A. 2020. Evaluation of the efficiency of Lazy Algorithm in estimating yield of saffron based on climatic parameters. *Saffron Agronomy & Technology*, 8(2): 295-304.

### Abstract

Saffron as the most precise agricultural and pharmaceutical product of the world has a specific place in industrial and export products of Iran. Nowadays, Iran is the largest producer and exporter of saffron in world and up to 93.7% of production of this valuable commodity belongs to Iran. Despite the antiquity of saffron cultivation and added value of this product compared to other current crops of Iran, fewer shares of new technologies are dedicated to saffron and its production is mainly based on indigenous knowledge. In this paper, multiple models are employed to evaluate and develop the performance of KStar and LWL in order to get an estimate on production yield of saffron based on climate parameters. The calibration and evaluation of models are obtained from the statistics of crop yield and climate factors between years 1988–2017. In order to evaluate the employed models, the following statistical criteria were used: Coefficient of Determination ( $R^2$ ), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) and Nash- Sutcliffe (NSE). From among the proposed models, the KStar model is in the e-scenario with an  $R^2$  of 1.00, MAE and RMSE of 0.00 and NSE of 1.00, which has good accuracy in estimating production yield of the saffron plant. This precision of the KStar model has made it easy to estimate performance of saffron in different areas of the country based on the data available at different stations.

**Keywords:** LWL, Kstar, Saffron Plant, Statistical Indicators

---

1- Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ph.D. Student of water Resource Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ph.D. Associate professor, University of Birjand, Birjand, Iran.

3- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, professor, University of Birjand, Birjand, Iran

(\*- Corresponding author. Email: abbaskhashei@birjand.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2020.174803.1338