

## ارزیابی توسعه کشت زعفران در شهرستان آزادشهر (استان گلستان) با تأکید بر عوامل اقلیمی

فهیمه مالکی<sup>۱</sup>، حسین کاظمی<sup>۲\*</sup>، آسیه سیاهمرگویی<sup>۳</sup> و بهنام کامکار<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آگرواکولوژی، گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استادیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- استاد گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

\*نویسنده مسئول: [Email:hkazemi@gau.ac.ir](mailto:hkazemi@gau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۲۴

### چکیده

در ایران اهمیت زعفران‌کاری از جنبه‌های گوناگون نظیر بهره‌وری بالای آب، زراعتی کم‌نهاد، اشتغال‌زایی و درآمدزایی روستاییان همچنین توسعه صادرات غیرنفتی قابل اهمیت است. به‌منظور ارزیابی عوامل اقلیمی شهرستان آزادشهر (استان گلستان) جهت توسعه کشت زعفران، از تحلیل‌های مکانی سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید. ابتدا نقشه‌های موضوعی انواع متغیرهای اقلیمی از جمله بارش سالانه، بارش دوره زایشی، بارش دوره رویشی، دمای متوسط سالانه، دماهای بیشینه و کمینه دوره‌های رشد زایشی، رویشی و رکود، تعداد ساعت آفتابی، رطوبت نسبی و تعداد روزهای یخبندان مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این کار از داده‌های اقلیمی ۱۳۷ ایستگاه باران‌سنجی، اقلیم‌شناسی و هم‌دیدگی استفاده شد. جهت تخمین این متغیرها از روش‌های درون‌یابی زمین‌آمار و کلاسیک شامل کریجینگ معمولی، وزن‌دهی معکوس فاصله و چندجمله‌ای موضعی و بر اساس آماره خطای برآورد (RMSE) در محیط Arc GIS استفاده شد. نتایج نشان داد که از نظر میزان بارش سالانه مورد نیاز زعفران، کل شهرستان در سه طبقه بسیار مناسب، مناسب و متوسط پهنه‌بندی می‌شود. همچنین از نظر بارش طی دوره زایشی، ۷۴/۵ درصد از زمین‌های مرکزی و شمالی شهرستان در پهنه نامناسب قرار گرفتند، اما براساس متغیرهایی مانند بارش طی دوره رویشی، دمای متوسط سالانه، دمای بیشینه زایشی، دماهای کمینه زایشی، رویشی و رکود، مجموع ساعات آفتابی و تعداد روزهای یخبندان هیچ‌گونه محدودیتی جهت توسعه کشت زعفران وجود ندارد. با ارزیابی صحت نتایج از طریق انطباق با برداشت‌های میدانی از مزارع فعلی، مشخص شد که تمامی نقاط نمونه‌برداری شده، در پهنه‌های بسیار مناسب و مناسب نقشه‌های اقلیمی قرار می‌گیرند. در مجموع، امکان توسعه گیاه زعفران در اراضی جنوبی شهرستان آزادشهر از لحاظ اقلیمی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: بارش، دما، زمین‌آمار، GIS، نیاز اقلیمی

## مقدمه

مشخص شد با توجه به نقش ارتفاع محل و تأثیر آن در رشد گیاه زعفران، ایستگاه گرمی (محدوده جنوب شرقی جلگه مغان) مناسب‌ترین ایستگاه جهت کشت این محصول می‌باشد. در پژوهشی اراضی شهرستان مرند از نظر قابلیت کشت زعفران بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) از جمله معیارهای اقلیم، توپوگرافی و استعداد اراضی و پوشش زمین ارزیابی و پهنه‌بندی شد. براساس آن منطقه مورد نظر به سه بخش قابل کشت، نسبتاً قابل کشت و غیرقابل کشت تقسیم‌بندی شد (Yazdchi et al., 2010). نتایج مطالعه رشید سرخ‌آبادی و همکاران (Rashid Sorkhabadi et al., 2014) روی تعیین مکان‌های مناسب کشت زعفران بر اساس متغیرهای آب و خاک با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در شهرستان تربت حیدریه نشان داد که از مجموع مساحت شهرستان، ۸/۵ درصد دارای کیفیت بسیار مناسب، ۴۶/۵ درصد دارای کیفیت مناسب، ۱۶/۵ درصد دارای شرایط نسبی برای کشت، ۱۷ درصد نامناسب و حدود ۱۱/۵ درصد از مساحت منطقه را نقاط کاملاً نامناسب برای کشت زعفران در بر می‌گیرد.

در مطالعه‌ای قابلیت اقلیمی کشت زعفران در استان‌های کرمانشاه و کردستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که نزدیک به ۳۰/۴۸ درصد از مساحت منطقه، عمدتاً شامل دشت‌های غرب کرمانشاه، جنوب روانسر و اطراف قروه، قابلیت متوسطی برای کشت زعفران دارد (Mojarad et al., 2014). محققان به منظور شناخت مناطق مستعد کشت زعفران با توجه به آمار ۲۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی و عملکرد زعفران در یک دوره ۱۰ ساله در خراسان جنوبی به بررسی متغیرهای هواشناسی از جمله رطوبت نسبی و بارندگی و رابطه این متغیرها بر عملکرد به وسیله تجزیه و تحلیل رگرسیونی و تهیه نقشه‌های رقومی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که عامل بارندگی در ماه‌های آذر تا فروردین نسبت به سایر ماه‌ها بر عملکرد تأثیرگذارتر است (Koozehgaran et al., 2013).

در پژوهشی با در نظر گرفتن عوامل اقلیمی مؤثر بر کشت زعفران با به کارگیری مدل AHP<sup>۱</sup> و اولویت‌بندی این عوامل بر اساس نظر کارشناسان به ارزیابی دهستان‌های منطقه رشتخوار

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* از خانواده زنبق، گران‌بهارترین گیاه زراعی موجود در روی کره زمین است. هر چند انواع دیگر زعفران به دلیل دارا بودن گل‌های زیبا به عنوان گیاهان زینتی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی گونه زراعی آن از نظر اقتصادی جایگاه ویژه‌ای دارد. از ویژگی‌های بارز این گیاه، ظهور گل آن قبل از اندام‌های رویشی، شروع رشد رویشی آن در پاییز، پایان رشد آن در بهار، عدم تولید بذر بارور برخلاف تولید گل‌های کامل فراوان و ضرورت برداشت گل آن در صبح قبل از گرم شدن هوا می‌باشد (Kafi et al., 2001).

عوامل آب و هوایی و اقلیمی و اثرات آن‌ها بر گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش عملکرد و تولید است. با ارزیابی زراعی-اقلیمی‌شناختی می‌توان امکانات فعلی مناطق مختلف را از نظر کشت گیاهان مختلف تعیین و از این امکانات حداکثر بهره‌برداری را نمود. در مناطق مختلف دنیا و همچنین در ایران با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و اطلاعات اقلیمی پهنه‌های کشاورزی-اقلیمی-شناسی برای گیاهان مختلف انجام شده است (Jafarbiglou & Mobaraki, 2008). با توجه به این که ایران از کشورهای مهم تولیدکننده زعفران می‌باشد، مطالعاتی با روش‌های مختلف در زمینه پهنه‌بندی زعفران انجام شده است، از جمله مکانیکی و همکاران (Mekaniki et al., 2015) در راستای شناخت توانمندی‌های منطقه‌ای جهت کشت زعفران در شهرستان‌های قاینات و زیرکوه به این نتیجه رسیدند که بیش از ۲۷۴۶ کیلومترمربع (۱۷/۶۰ درصد) از مساحت منطقه برای کشت زعفران بسیار مناسب و ۲۱۲۶ کیلومترمربع (۱۳/۶۲ درصد) با محدودیت شدید همراه است. در مطالعه دیگری فرج‌زاده و میرزاییاتی (Farajzadeh & Mirzabeyati, 2007) به امکان‌سنجی نواحی مستعد کشت زعفران در دشت نیشابور با استفاده از GIS پرداختند و پس از پهنه‌بندی عناصر محیطی و اقلیمی مؤثر، نقشه نهایی امکان‌سنجی کشت این محصول را به دست آوردند. اسماعیل‌زاده و جهانبخش (Esmailzadeh & Jahanbakhsh, 2011) به انطباق نیازهای کشاورزی-اقلیمی‌شناختی گیاه زعفران با اقلیم دشت مغان پرداختند.

2001). بهره‌وری بالا، جلوگیری از مهاجرت روستاییان، هزینه پایین حمل‌ونقل، ارزآوری و درآمدزایی از جمله مواردی است که اخیراً باعث رونق کشت این گیاه در سایر مناطق کشور از جمله در استان گلستان شده است. بر اساس آمار سال ۹۲-۱۳۹۱ سطح زیر کشت زعفران در شهرستان آزادشهر به دو صورت بارور و غیربارور به ترتیب ۶۲ و ۲۰ هکتار رسیده است. متوسط تولید زعفران در هکتار این شهرستان ۰/۳۶ تن و میزان عملکرد آن ۵/۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد ( *Jihad Agriculture Organization, 2014*). تجربه موفق کشاورزان، وجود سابقه کشت در روستای وامان شهرستان آزادشهر از دیگر نقاط قوت توسعه کشت زعفران در این استان می‌باشد. امتیازاتی که این منطقه در مقایسه با کشت زعفران در خراسان دارد این است که در خراسان، پیاز زعفران ۶-۷ سال قابل گلدهی می‌باشد، اما مزارع زعفران وامان نزدیک به ۱۴ سال قابلیت گلدهی دارند. همچنین میزان آبیاری زعفران در مزارع وامان خیلی کم‌تر از مزارع خراسان است. در این منطقه کشت زعفران فقط نیاز به کود دامی دارد، در نتیجه محصولی با کم‌ترین هزینه و امکانات و چندین برابر سوددهی می‌توان در این منطقه تولید کرد. بنابراین، این مطالعه عوامل اقلیمی تأثیرگذار در زراعت زعفران مورد ارزیابی قرار گرفت تا امکان توسعه سطح زیر کشت این گیاه با ارزش در سایر مناطق شهرستان آزادشهر فراهم شود.

### مواد و روش‌ها

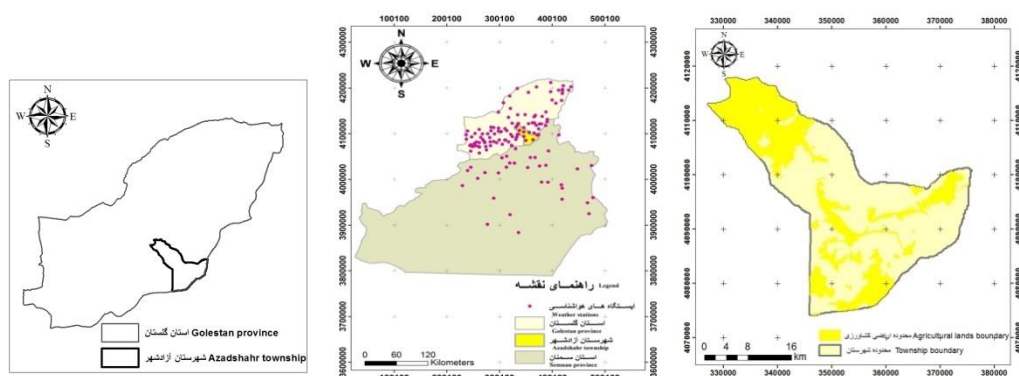
#### منطقه مورد مطالعه

آزادشهر یکی از شهرستان‌های جنوبی استان گلستان، با مساحت ۸۷۲ کیلومتر مربع، از شمال به شهرستان گنبدکاووس، از غرب به شهرستان علی‌آبادکتول، از شرق به شهرستان مینودشت و استان خراسان شمالی و از جنوب هم به شهرستان رامیان و استان سمنان محدود شده است. این شهرستان با دارا بودن آب و هوای معتدل کوهستانی و متوسط ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریا بین مختصات ۵۵ درجه و ۳/۷ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۸/۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲/۴۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵/۱۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. منطقه مورد بررسی در این مطالعه، محدوده زمین‌های کشاورزی شهرستان آزادشهر انتخاب شد که با استفاده از لایه کاربری اراضی استان گلستان از دیگر کاربری‌ها تفکیک گردیده است (شکل ۱).

توسط کامیابی و همکاران ( *Kamyabi et al., 2014*) پرداخته شد. بر اساس رتبه‌بندی نهایی نتایج نشان داد در میان عوامل اقلیمی مؤثر، بارش با ضریب ۰/۲۸۱ و دما با ضریب ۰/۱۳۷ بیش‌ترین تأثیر و منابع آبی و تبخیر کم‌ترین امتیاز را داشتند.

کوچکی و همکاران ( *Koocheki et al., 2009*) به پهنه‌بندی و ارزیابی عملکرد زعفران در استان خراسان پرداختند. برای این منظور ۱۶۰ مزرعه که یک تا پنج سال سن داشتند، از چهار منطقه بیرجند، قائن، گناباد و تربت‌حیدریه انتخاب نمودند. نتایج نشان داد طولانی‌ترین فاصله آبیاری برای گناباد (۲۴ روز) و کوتاه‌ترین برای تربت‌حیدریه (۱۲ روز) بود. مزارع تربت‌حیدریه بیش‌ترین عملکرد زعفران را داشتند که نشان‌گر مدیریت بهتر در مقایسه با سایر مناطق بود. باگلی ( *Bagoli, 2003*) اقدام به پهنه‌بندی بوم‌شناختی- کشاورزی در کشور ایتالیا نمودند. پس از بررسی اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی موجود، شاخص‌های مربوط به دما و رطوبت مطلوب گیاه، شاخص خطر تنش دمایی، شاخص یخ‌زدگی در مراحل رشد گیاهان انتخاب شدند. در بررسی که چن و همکاران ( *Chen et al., 2010*) در استان هنان جهت کشت تنباکو با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام دادند از ۱۷ شاخص مرتبط با اقلیم و خاک و شکل زمین استفاده کردند. وزن مربوط به این شاخص‌ها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی تهیه گردید و نتایج نشان داد که حدود ۲۲/۵۲ درصد از اراضی این استان که قسمت‌های غرب و جنوب می‌باشند، مناسب برای کشت تنباکو است. نتایج پژوهش سامانتا و همکاران ( *Samanta et al., 2011*) روی پهنه‌بندی استان مورویه در گینه نو جهت کشت برنج با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان داد که حدود ۱۴ درصد اراضی بسیار مناسب و ۲۱ درصد دارای تناسب متوسط برای کشت برنج هستند.

در ایران اهمیت زعفران‌کاری از جنبه‌های گوناگون نظیر بهره‌وری بالای آب در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی، اشتغال روستاییان و جلوگیری از مهاجرت آن‌ها، درآمدزایی آن نسبت به سایر محصولات کشاورزی همچنین از لحاظ توسعه صادرات غیرنفتی با توجه به سیاست دولت مبنی بر افزایش صادرات غیرنفتی، قابل بررسی است ( *Kafi et al.,*



شکل ۱. محدوده جغرافیایی زمین‌های کشاورزی شهرستان آزادشهر و موقعیت آن در استان گلستان و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده (سیستم مختصات Zone 40 NWGS 1984-UTM)

Fig. 1. The geographic boundary of agricultural lands in Azadshahr township and their position in the Golestan province and country (Based on the UTM coordinate system, Zone 40 NWGS 1984)

صورتی که در روش‌های زمین‌آماری، تخمین بر اساس ساختار مکانی موجود در محیط صورت می‌گیرد (Kazemi et al., 2015). روش‌های درون‌یابی کلاسیک عبارتند از روش وزن-دهی فاصله معکوس، نزدیک‌ترین نقطه، روش میانگین متحرک، روش سطح روند و روش سطح متحرک (Sadeghi, 2011). از روش‌های زمین‌آماری می‌توان به انواع کریجینگ و کوکریجینگ اشاره کرد. از میان انواع روش‌های زمین‌آماری و کلاسیک، روش کریجینگ معمولی، وزن‌دهی فاصله معکوس و چندجمله‌ای موضعی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند.

### شاخص‌های آماری

در این مطالعه به منظور تعیین نرمال یا غیرنرمال بودن داده‌های مورد استفاده، از شاخص آماری موجود در Arc Map کمک گرفته شد. شاخص‌های آماری مورد نظر در این بخش شامل شاخص‌های مرکزی (میان و میانگین) و شاخص‌های پراکندگی (کشیدگی و چولگی) می‌باشند.

### معیار اعتبارسنجی

از روش ارزیابی متقابل، برای اعتبارسنجی برآوردهای حاصل از روش‌های درون‌یابی استفاده شد. در این پژوهش به منظور ارزیابی مناسب روش‌های تخمین‌گر، از شاخص‌های ریشه دوم میانگین مربعات خطا (معادله ۱) استفاده شد.

$$(1)$$

1- Root Mean Square Error (RMSE)

### عوامل اقلیمی

برای تهیه انواع نقشه‌های اقلیمی در محدوده مورد مطالعه، از داده‌های اقلیمی ۱۳۷ ایستگاه باران‌سنجی، اقلیم‌شناسی و هم-دیدنی مستقر در سطح استان‌های گلستان و نیز استان مجاور سمنان در یک دوره آماری بلندمدت از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۳ (مبنای ایستگاه‌های جدید از سال تأسیس تا ۱۳۹۳) استفاده شد. در این مطالعه به منظور افزایش دقت و تخمین صحیح مقادیر متغیرهای مورد بررسی برای شهرستان آزادشهر، ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک و پیرامون منطقه انتخاب گردید.

موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه لایه رقومی بارش سالانه، بارش دوره زایشی، بارش دوره رویشی، دمای متوسط سالانه، دمای بیشینه زایشی، دمای بیشینه رویشی، دمای بیشینه رکود، دمای کمینه زایشی، دمای کمینه رویشی، دمای کمینه رکود، مجموع ساعت آفتابی، تعداد روزهای یخبندان و رطوبت نسبی تهیه شدند. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این مطالعه ArcMap نسخه ۱۰ و صفحه گسترده اکسل نسخه ۲۰۱۰ می‌باشد.

### روش‌های درون‌یابی

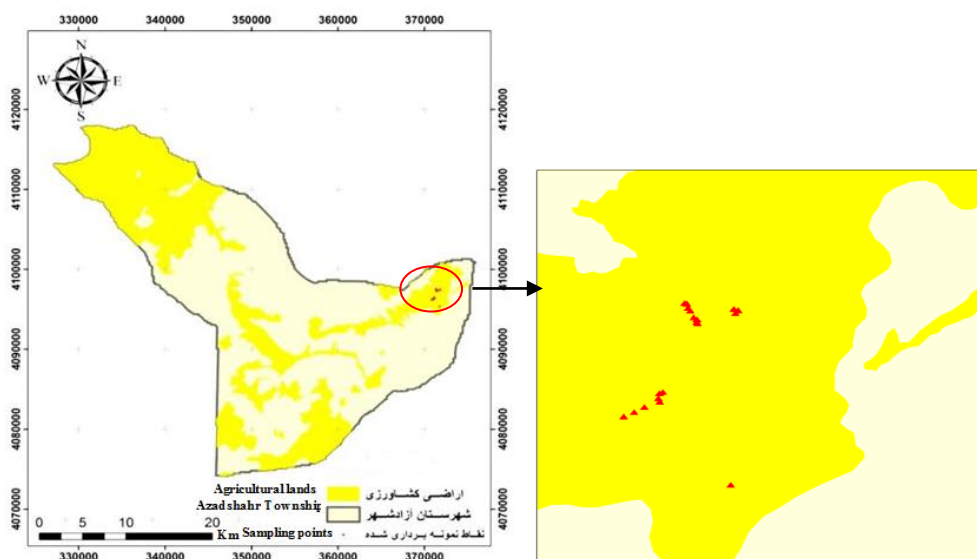
روش‌های مختلفی برای تخمین یک متغیر در مقیاس زمانی یا مکانی وجود دارد که در یک تقسیم‌بندی کلی به روش‌های زمین‌آماری و روش‌های کلاسیک تقسیم می‌گردند. روش‌های کلاسیک از آمار کلاسیک برای تخمین استفاده می‌کنند، در

### بازدید میدانی

به منظور انطباق نتایج این مطالعه با وضعیت کنونی مزارع زعفران منطقه، بازدیدهای میدانی از مزارع زعفران روستای وامان واقع در جنوب شرق شهرستان آزادشهر در تاریخ ۱۳۹۴/۸/۲۳ با ثبت موقعیت جغرافیایی نقاط توسط دستگاه GPS لمسی مدل ۵۵۰ Garmin صورت پذیرفت. موقعیت مزارع نمونه برداری شده در روستای وامان در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (z(x_i) - z^*(x_i))^2}$$

که در این معادلات، مقدار برآورد شده در نقطه  $Z^*(X_i)$  مقدار اندازه گیری شده در نقطه  $X_i$ ، میانگین مقادیر مشاهده ای و  $N$ : تعداد نقاط است. معمولاً هر قدر مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطا کمتر باشد، صحت روش بیشتر است. از نظر تئوری هرگاه این مقدار برابر صفر شوند، نمایانگر این است که مقدار تخمین زده شده یک کمیت، دقیقاً برابر مقدار واقعی آن است (Hassani-Pak, 1998).



شکل ۲. موقعیت مزارع زعفران روستای وامان در شهرستان آزادشهر

Fig. 2. The location of saffron fields in Vamanan village of Azadshahr Township

منطقه، کار انطباق نقشه‌ها با نقشه برداشت‌های میدانی از مزارع زعفران شهرستان آزادشهر انجام شد.

### نتایج و بحث

#### توصیف آماری داده‌ها

قبل از ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی و تهیه لایه رقومی متغیرهای مورد مطالعه، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این کار با استفاده از شاخص‌های مرکزی شامل میانگین و میانگین و شاخص‌های پراکندگی شامل چولگی و کشیدگی در محیط GIS صورت پذیرفت. بررسی داده‌ها نشان داد که مقدار چولگی پایین و همچنین نزدیک بودن مقادیر میانگین و میانگین در اکثر متغیرها، گویای برخورداری داده‌ها از توزیع نرمال می‌باشد (جدول ۱).

### چگونگی ارزیابی متغیرهای محیطی جهت کشت زعفران

ابتدا نیازهای اقلیمی گیاه زعفران با استفاده از منابع علمی موجود تهیه و جمع‌بندی شد. این اطلاعات از منابع و اسناد کتابخانه‌ای، مقالات، گزارش‌های نهایی طرح‌های پژوهشی، پایان‌نامه‌ها و مشاوره با کارشناسان مراکز دانشگاهی و تحقیقات کشاورزی استان‌های گلستان و خراسان رضوی و همچنین از سایر منابع (مبنا قرار دادن داده‌های اقلیمی شهرستان‌های کاشمر و قائنات از مراکز عمده کشت زعفران به عنوان ایستگاه‌های مرجع) تهیه شد. سپس، لایه اقلیمی مورد نیاز در محیط ArcMap نسخه ۱۰ تهیه گردید. بعد از تهیه لایه‌ها، کار انطباق هر لایه با نیازهای بوم‌شناختی و اقلیمی زعفران صورت پذیرفت. در گام آخر جهت ارزیابی صحت نتایج با واقعیت‌های

## جدول ۱. نتایج آماری متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در شهرستان آزادشهر

Table 1. Statistical results of studied climatic variables in Azadshahr Township

متغیر Variable	واحد Unit	نوع توزیع/تبدیل Distribution /transformation Type	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis	میانه Median	میانگین mean	کمینه Min	بیشینه Max
بارش سالانه Annual rainfall	میلی‌متر mm	نرمال Normal	0.308	2.060	396.72	419.53	66.7	924.76
بارش دوره زایشی Rainfall of reproductive	میلی‌متر mm	نرمال Normal	0.294	2.520	41	42.49	5.92	87.83
بارش دوره رویشی Rainfall of growth period	میلی‌متر mm	نرمال Normal	0.299	2.549	321.8	323.4	57	623.5
دمای متوسط سالانه Annual average temperature	سانتی- گراد °C	نرمال Normal	-0.684	2.172	18.01	17.52	15.3	19.16
دمای بیشینه دوره زایشی Maximum temperature of reproductive period	سانتی- گراد °C	نرمال Normal	0.294	2.511	23.8	23.74	20.72	26.38
دمای بیشینه دوره رویشی Maximum temperature of growth period	سانتی- گراد °C	نرمال Normal	-0.641	2.215	16.05	15.68	12.88	17.38
دمای بیشینه دوره رکود Maximum temperature of dormancy	سانتی- گراد °C	نرمال Normal	-0.288	2.76	32.46	32.38	29.58	34.86
دمای کمینه دوره زایشی Minimum temperature of reproductive period	سانتی- گراد °C	نرمال Normal	-0.739	2.206	12.81	12.10	8.81	14.64
دمای کمینه دوره رویشی Minimum temperature of growth period	سانتی- گراد °C	نرمال Normal	-0.713	1.969	5.88	4.96	1.78	7.22
دمای کمینه دوره رکود Minimum temperature of dormancy	سانتی- گراد °C	نرمال Normal	0.409	2.857	20.32	20.23	18.4	22.58
ساعت آفتابی Sunshine hours	ساعت Hour	تبدیل لگاریتمی Log	0.767	2.15	2396.7	2548.3	2126.7	3252.5
روزهای یخبندان Number of frost days	روز Day	تبدیل لگاریتمی Log	0.812	1.89	21.6	34.19	11.75	79.43
رطوبت نسبی Relative humidity	درصد Percent age	تبدیل لگاریتمی Log	-0.544	1.65	67.3	62.19	46	74.54

## بارش سالانه

روش‌های مورد بررسی بیان‌گر آن است که روش زمین‌آماري (کریجینگ) در مقایسه با روش‌های کلاسیک، توانایی بهتری در تخمین صحیح مقادیر بارش سالانه داراست. محققان دیگری نیز روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای را مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی مقادیر میانگین بارندگی سالانه معرفی کرده‌اند (Mirmousavi et al., 2010; Zabih et al., 2011).

نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی کلاسیک و زمین‌آماري نشان داد که جهت تخمین متغیر بارش سالانه، روش کریجینگ با مدل نمایی با کمترین مقدار  $RMSE$  و  $GSD$  دارای بالاترین دقت و صحت بوده، بنابراین مناسب‌ترین روش جهت میان‌یابی شناخته شد. همچنین روش چند-جمله‌ای موضعی درجه ۳ با دارا بودن بیش‌ترین مقدار خطا، نامناسب‌ترین روش معرفی گردید (جدول ۲). مقایسه کلیه

شهریور یا مرداد ماه باعث می‌شود به‌جای رشد گل‌ها، اول برگ‌ها سبز شوند، در این‌صورت برداشت گل دچار مشکل شده و کیفیت زعفران پایین می‌آید (Farajzadeh & Mirzabeyati, 2007). همچنین در اواخر تابستان سلول‌های رویشی بنه زعفران در زیر خاک آماده فعالیت می‌شود و نخستین آبیاری در حدود نیمه مهر تا نیمه آبان متناسب با شرایط آب و هوایی منطقه انجام می‌شود. در این ماه مقدار بارش اهمیت زیادی دارد، زیرا میزان بارش زیاد در زمان گل‌دهی برای زعفران مضر است (Arsalani et al., 2015).

### بارش دوره رویشی

از میان روش‌های مختلف به‌کار رفته در این پژوهش جهت درون‌یابی بارش دوره رویشی (از ۱۵ آبان تا ۱۵ اردیبهشت)، روش کریجینگ روش برتر شناخته شد. روش چندجمله‌ای موضعی با درجه سه به‌دلیل داشتن بیش‌ترین میزان خطا (۱۲۵/۴۴ میلی‌متر)، نامناسب‌ترین است (جدول ۲). شکل ۳ نقشه بارش دوره رویشی را در شهرستان آزادشهر با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ دایره‌ای نشان می‌دهد. میزان بارش در این دوره از ۴۵۶-۳۲۷/۸ میلی‌متر در نوسان است. با توجه به اینکه بارش مناسب این دوره از رشد زعفران، بیش از ۵۸ میلی‌متر است، بنابراین میزان بارش در شهرستان آزادشهر برای کشت زعفران بسیار مناسب ( $S_1$ ) بوده و محدودیتی از این نظر وجود ندارد. گزارش شده است که نزولات جوی در مرحله رویشی بیش‌ترین تأثیر را در رشد زعفران دارد (Jafarbiglou & Mobaraki, 2008). در همین راستا بهدانی (Behdani, 2005) بیان داشت بارندگی‌های فصول پاییز و زمستان برای زراعت زعفران بسیار مناسب است. در سال‌هایی که بارندگی در این فصل‌ها کم باشد، کشاورزان باید آبیاری انجام دهند تا پیاز زعفران میزان آب موردنیاز را قبل از به خواب رفتن، دریافت نماید.

براساس شکل ۳ بیش‌ترین میزان بارندگی در نواحی مرکزی و بخش‌های شمالی و کم‌ترین میزان بارندگی سالانه در نواحی شرق و جنوب شهرستان اتفاق می‌افتد. بارش کمتر در بخش جنوب و شرق شهرستان را می‌توان به‌دلیل مجاورت و همسایگی با اراضی خشک و نیمه‌خشک استان خراسان شمالی در شرق و استان سمنان در جنوب نسبت داد. با توجه به اینکه میزان بارش سالانه مورد نیاز گیاه زعفران ۴۰۰-۳۰۰ میلی‌متر گزارش شده است (Kafi et al., 2001; Jafarbiglou & Mobaraki, 2008)، میزان این متغیر محدودیتی برای کشت زعفران در بخش‌های وسیعی این شهرستان ایجاد نخواهد کرد. در طبقه‌بندی میزان بارش سالانه موردنیاز گیاه زعفران مطابق با نیازهای اقلیمی آن، کل شهرستان در ۳ طبقه بسیارمناسب، مناسب و متوسط پهنه‌بندی شد.

مطابق جدول ۳، ۱۱۷۶۷/۱۱ هکتار از اراضی جنوب‌شرقی تا جنوب‌غربی شهرستان دارای بارش ۴۰۰-۳۰۰ میلی‌متر بوده و در طبقه بسیارمناسب ( $S_1$ ) واقع شدند. نتایج نشان داد که ۷۴۱۵/۴۶ هکتار از زمین‌های جنوبی شهرستان دارای میزان بارش سالانه ۲۴۰-۲۰۰ میلی‌متر بوده که به‌عنوان پهنه متوسط ( $S_2$ ) در نظر گرفته شد (جدول ۳). این میزان بارش سالانه می‌تواند برای تولید زعفران محدودیت ایجاد نماید.

### بارش دوره زایشی

به‌منظور تخمین و برآورد مقدار و توزیع بارش دوره زایشی زعفران (از ۱۵ مهر تا ۱۵ آبان) در شهرستان آزادشهر، روش کریجینگ با مدل دایره‌ای، به‌دلیل برخورداری از حداقل مقدار  $RMSE$  و  $GSD$  به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد (جدول ۴). در همین راستا ایتو و همکاران (Abtew et al., 1993)، روش کریجینگ را نسبت به سایر روش‌ها برای برآورد بارندگی ماهانه در جنوب فلوریدا، روش کارآمدتری معرفی کردند. توزیع و پراکنش بارش دوره زایشی در شهرستان آزادشهر و محدوده زمین‌های کشاورزی آن در شکل ۳ نشان می‌دهد که میزان بارش در نواحی مرکزی شهرستان، در بالاترین میزان می‌باشد. همچنین قسمت‌های جنوبی از بارش دوره زایشی کم‌تری برخوردار است.

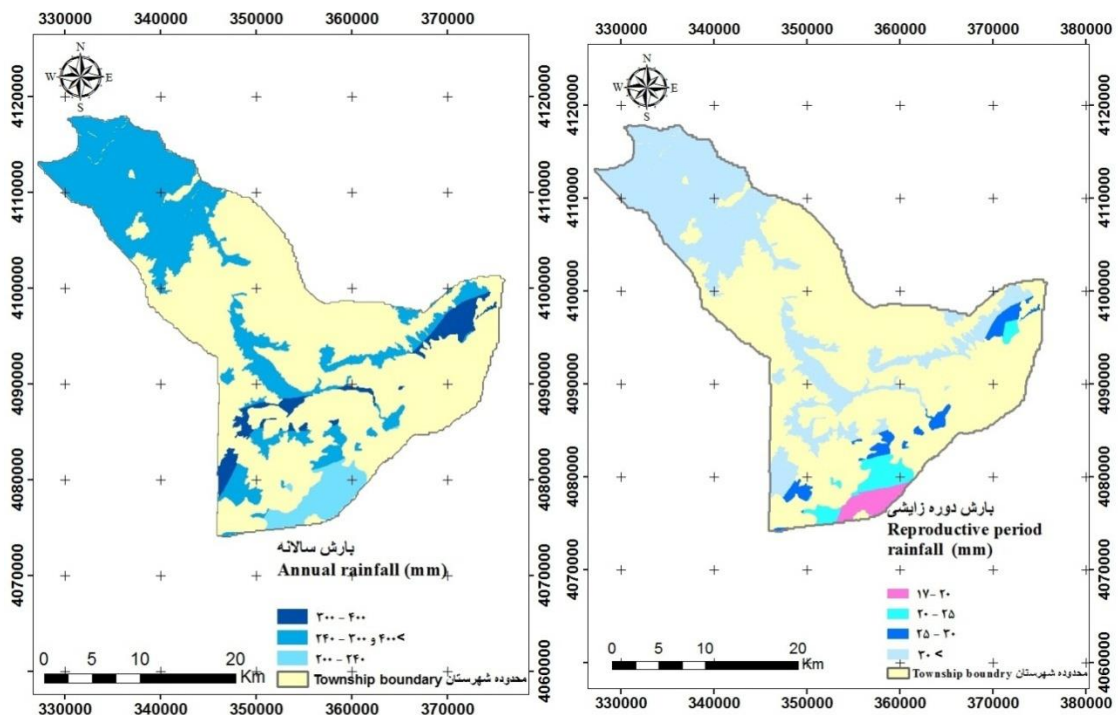
با توجه به جدول ۴، ۲/۴۶ درصد از منطقه مورد مطالعه در پهنه بسیار مناسب و ۷۴/۴۸ درصد از زمین‌های مرکزی و شمالی شهرستان در پهنه نامناسب دائمی قرار گرفتند. اصولاً در زراعت زعفران بارش‌های زودتر از مهرماه، یعنی در طی

جدول ۲. نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی جهت برآورد بارش سالانه، دوره زایشی و دوره رویشی در شهرستان آزادشهر (میلی متر)

Table 2. Results of interpolation analysis for estimation of rainfall (mm) in the reproductive period, growth period and annual form in Azadshahr township.

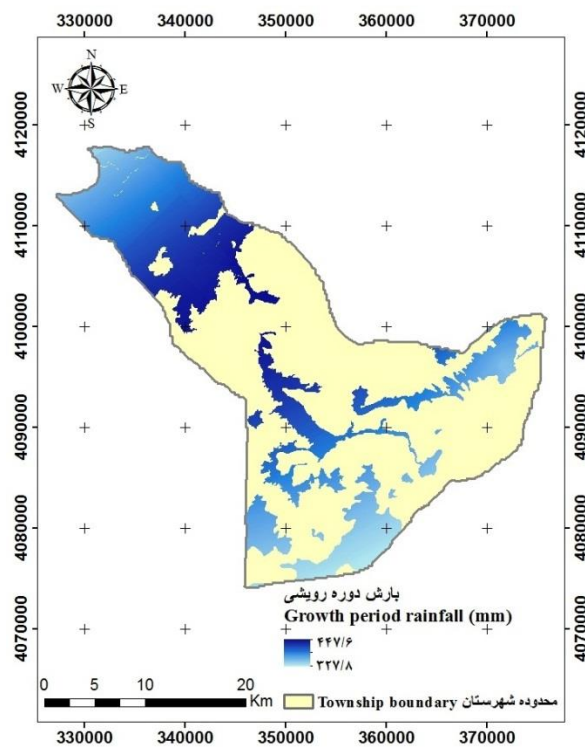
روش Method	مدل / توان / درجه Model/ Power/Degree	خطای برآورد RMSE			انحراف استاندارد عمومی GSD			اولویت بندی Ranking		
		سالانه Annual	دوره زایشی Reproductive period	دوره رویشی Growth period	سالانه Annual	دوره زایشی Reproductive period	دوره رویشی Growth period	سالانه Annual	دوره زایشی Reproductive period	دوره رویشی Growth period
وزن‌دهی معکوس فاصله Inverse Distance Weighted	توان ۱ Power1	133.89	17.50	120.78	0.97	0.307	2.118	10	5	5
	توان ۲ Power2	127.78	16.93	121.53	0.92	0.297	2.132	8	7	6
	توان ۳ Power3	127.55	16.85	125.25	0.93	0.295	2.197	7	6	8
چندجمله‌ای موضعی Local Polynomial Interpolation	درجه ۱ Degree1	116.95	-	110.50	0.85	-	1.938	6	-	4
	درجه ۲ Degree2	130.11	-	122.90	0.94	-	2.156	9	-	7
	درجه ۳ Degree3	147.16	-	125.44	1.07	-	2.200	11	-	9
کریجینگ معمولی Ordinary Kriging	دایره‌ای Circular	111.53	14.08	106.65	1.01	0.306	2.318	3	1	1
	کروی Spherical	109.39	15.23	107.24	0.99	0.331	2.331	2	2	2
	نمایی Exponential	108.38	15.24	109.27	0.98	0.331	2.375	1	3	3
	گوسی Gaussian	112.16	16.84	-	1.01	0.336	-	4	4	-
	ثابت Stable	112.21	16.84	-	1.02	0.336	-	5	4	-





ب

الف



ج

شکل ۳. نقشه‌های بارش سالانه، بارش دوره رویشی و بارش دوره زایشی جهت کشت زعفران در شهرستان آزادشهر

Fig.3. The annual, reproductive and growth periods rainfall maps for saffron planting in Azadshahr township

جدول ۳. پهنه‌بندی میزان بارش سالانه در شهرستان آزادشهر جهت کشت زعفران ( Kafi et al., 2001; Jafarbiglou & Mobaraki, 2008)

Table 3. Zoning of annual rainfall in Azadshahr township for saffron planting (Kafi et al., 2001; Jafarbiglou & Mobaraki, 2008)

ارزش کیفی Quality value	سهام هر پهنه نسبت به کل (درصد) Zone area to total area (%)		مساحت (هکتار) Area (ha)		میزان بارش (میلی‌متر) Rainfall amounts (mm)
	زمین‌های کشاورزی Agricultural land	شهرستان Township	زمین‌های کشاورزی Agricultural land	شهرستان Township	
متوسط (S <sub>3</sub> ) Semi-suitable (S <sub>3</sub> )	10.67	8.62	3400.19	7415.46	200-240
مناسب (S <sub>2</sub> ) Suitable (S <sub>2</sub> )	78.99	77.70	25281.55	66829.03	240-300
بسیار مناسب (S <sub>1</sub> ) High suitable (S <sub>1</sub> )	10.39	13.68	3324.34	11767.11	300-400, 400<

جدول ۴. پهنه‌بندی میزان بارش دوره زایشی در شهرستان آزادشهر جهت کشت زعفران

Table 4. Zoning of reproductive period rainfall in Azadshahr township for saffron planting

ارزش کیفی Quality value	سهام هر پهنه نسبت به کل (درصد) Zone area to total area (%)		مساحت (هکتار) Area (ha)		میزان بارش (میلی‌متر) Rainfall amounts (mm)
	شهرستان Township	زمین‌های کشاورزی Agricultural land	شهرستان Township	زمین‌های کشاورزی Agricultural land	
بسیار مناسب (S <sub>1</sub> ) High suitable (S <sub>1</sub> )	2.46	4.70	2115.08	1503.05	17-20
نیمه متوسط (S <sub>3</sub> ) Semi-suitable (S <sub>3</sub> )	12.57	7.74	10809.44	2476.01	20-25
موقتاً نامناسب (N <sub>1</sub> ) Currently unsuitable (N <sub>1</sub> )	10.49	6.62	9024.13	2119.72	25-30
نامناسب دائمی (N <sub>2</sub> ) Permanently unsuitable (N <sub>2</sub> )	74.48	80.94	64063.16	25897.06	30<

#### دمای متوسط سالانه

مطالعه دمایی متوسط سالانه کمتری داشته و از جنوب شهرستان به سمت شمال بر میزان آن افزوده می‌شود. این محدوده دمایی برای رشد و نمو زعفران مطلوب بود؛ به طوری- که کل زمین‌های کشاورزی شهرستان در کلاس تناسب بسیار مناسب (S<sub>1</sub>) قرار گرفتند. هلفرد (Holford, 1973) گزارش کرد که زعفران در طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی، شرایط دمایی و رطوبتی متغیر قابل کشت است. وی بهترین آب و هوا را برای رشد زعفران، آب و هوای گرم و نیمه‌استوایی معرفی کرد.

در میان سه روش به کار رفته جهت تخمین دمای متوسط سالانه در شهرستان آزادشهر، مشخص شد که روش چند- جمله‌ای موضعی با درجه سوم، به دلیل داشتن حداقل مقدار RMSE (۰/۳۲۵ درجه سانتی‌گراد) به عنوان روش برتر شناخته شد (جدول ۵). نقشه تولید شده با روش چندجمله‌ای درجه ۳ نشان داد که تغییرات دمای متوسط سالانه در زمین‌های کشاورزی شهرستان آزادشهر از ۱۶/۶ تا ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد در نوسان است (شکل ۴). بخش‌های جنوبی شهرستان مورد

### دمای بیشینه دوره زایشی

براساس نتایج جدول ۵ جهت تخمین و درون‌یابی دمای بیشینه زایشی (از ۱۵ مهر تا ۱۵ آبان‌ماه)، میزان خطای دو مدل نمایی و ثابت از روش کریجینگ، کم‌ترین و مشابه یکدیگر به دست آمد که در مقایسه با سایر مدل‌ها، صحت و دقت بالاتری داشتند و روش چندجمله‌ای موضعی درجه ۳ به‌عنوان نامناسب‌ترین مدل معرفی شد. نقشه تهیه شده از طریق روش کریجینگ (شکل ۴)، نشان داد که دمای بیشینه دوره زایشی در دامنه ۲۳/۲ تا ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر می‌باشد. این تغییرات، افزایش تدریجی دمای بیشینه را از مناطق جنوبی به سمت شمال شهرستان نشان می‌دهد. بر طبق نیازهای اقلیمی زعفران، این گیاه شرایط رشدی بسیار مناسبی در دمای بیش از ۲۳ درجه سانتی‌گراد دارد، بنابراین لایه دمای بیشینه دوره زایشی در شهرستان آزادشهر، بدون هیچ‌گونه محدودیتی تنها با یک پهنه بسیار مناسب ( $S_1$ ) جهت انجام استعداسنجی طبقه‌بندی شد. حلوی (Halevy, 1990) تغییرات دمای ماهانه را مهم‌ترین عامل محیطی در تنظیم گل‌دهی بسیاری از گیاهان پیازدار دانست و بیان داشت دما می‌تواند مهم‌ترین عامل در تنظیم گلدهی زعفران باشد.

### دمای بیشینه دوره رویشی

با توجه به جدول ۵ با بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی جهت تخمین دمای بیشینه رویشی، مدل کروی روش کریجینگ با دارا بودن حداقل میزان خطا به‌عنوان روش برتر انتخاب شد. ایرمک و راناد (Irmak & Ranade, 2008) روش کریجینگ را بهترین روش برای تخمین مقادیر دما در منطقه نبراسکا معرفی نمودند. نقشه حاصل از درون‌یابی دمای بیشینه دوره رویشی در زمین‌های کشاورزی شهرستان آزادشهر نشان می‌دهد که دامنه تغییرات این دما در سطح زمین‌های کشاورزی از ۱۵ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۴). بدین صورت که بخش‌های جنوبی دارای دمای کمتری نسبت به بخش‌های شمالی است. دامنه دمای بیشینه رویشی در کل شهرستان آزادشهر برای کشت این گیاه در طبقه متوسط تناسب اراضی قرار گرفت. در همین راستا گزارش شده است که دمای بیشینه در ماه‌های آبان، آذر، دی و اسفند بیش‌ترین تأثیر را بر تولید زعفران داراست (Koozehgaran et al., 2011).

### دمای کمینه دوره زایشی

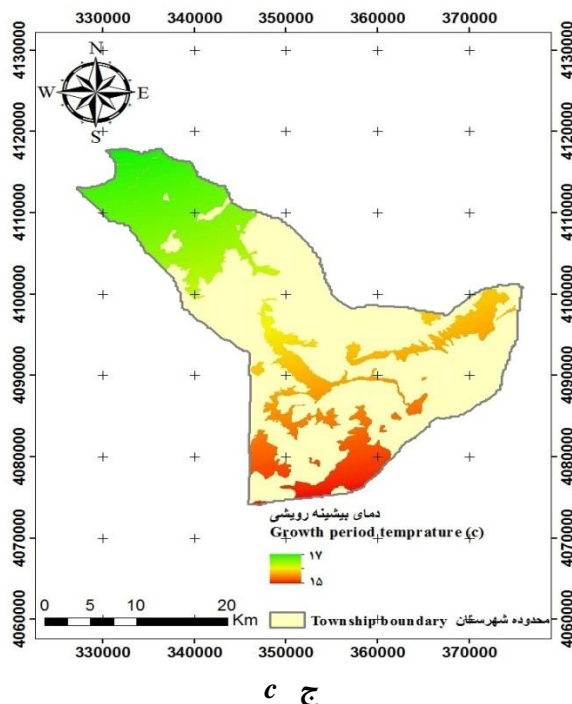
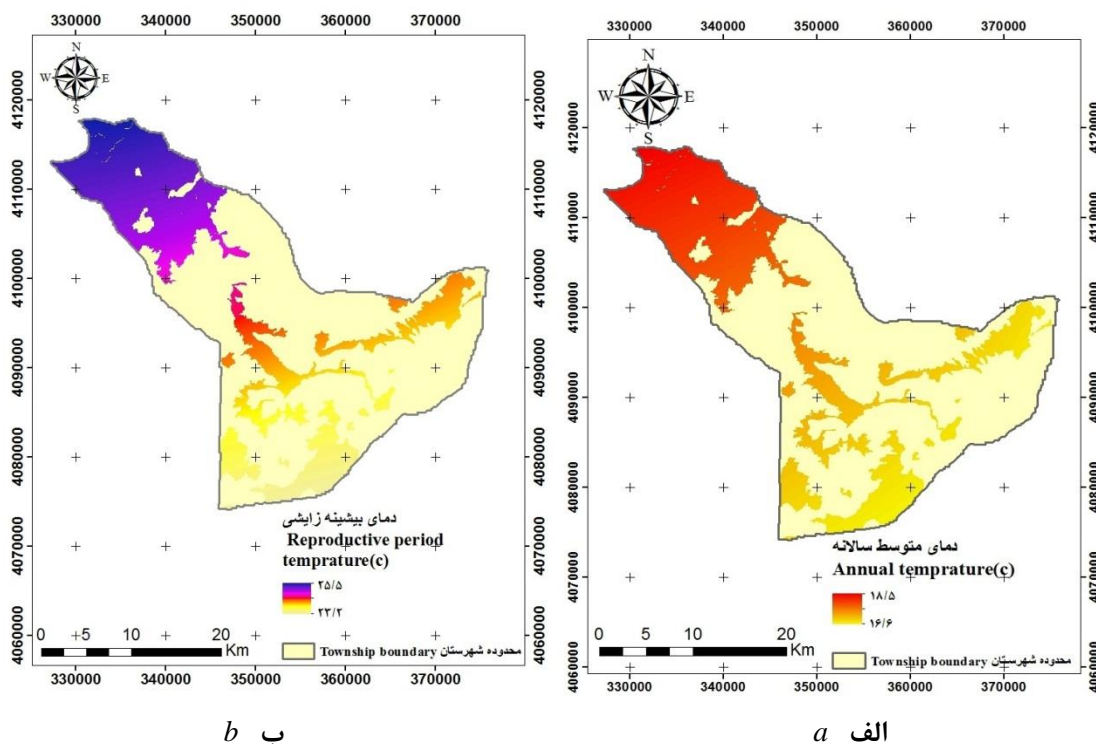
بررسی جدول ۶ و مقایسه روش‌های زمین‌آماری و درون‌یابی کلاسیک به‌کار رفته جهت درون‌یابی و تخمین دمای کمینه دوره زایشی در شهرستان آزادشهر، بیان‌گر برتری چندجمله‌ای موضعی درجه ۱ نسبت به روش کریجینگ می‌باشد. همچنین درجه ۳ همین روش به‌عنوان نامناسب‌ترین مدل شناخته شد. نقشه دمای کمینه دوره زایشی نشان می‌دهد که محدوده‌ی این دما در شهرستان آزادشهر از ۱۱/۱ تا ۱۲/۷ سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۵). هر چند میزان این دما از جنوب شهرستان به سمت شمال آن به تدریج رو به افزایش است، اما کل زمین‌های کشاورزی شهرستان از نظر این متغیر در طبقه بسیار مناسب ( $S_1$ ) قرار گرفتند. بررسی‌های سایر محققان (Behdani et al., 2008; Molina et al., 2004) نشان می‌دهد که درجه حرارت کمینه عامل اصلی و تعیین‌کننده تشکیل گل و خروج گل از زعفران می‌باشد. گزارش شده است با توجه به اینکه دوره رشد و نمو زعفران که منجر به عملکرد اقتصادی می‌شود بسته به شرایط و موقعیت جغرافیایی هر منطقه در طی ماه‌های مهر تا آذر روی می‌دهد، درجه حرارت کمینه در این ماه‌ها بر عملکرد زعفران مؤثر می‌باشد (Koozehgaran et al., 2011).

### دمای کمینه دوره رویشی

با ارزیابی سه روش به‌کارگرفته شده جهت تخمین دمای کمینه رویشی در شهرستان آزادشهر، مشخص شد که روش چندجمله‌ای موضعی با درجه ۱، به دلیل داشتن حداقل مقدار خطا، به عنوان روش برتر شناخته شد (جدول ۶). در پژوهشی مسعودیان (Masoodian, 2003) هم برای تهیه نقشه‌ی هم‌دمای کل ایران، روش کریجینگ را مناسب دانست. شکل ۵ نقشه دمای کمینه دوره رویشی زعفران را در شهرستان آزادشهر با استفاده از روش درون‌یابی چندجمله‌ای موضعی با درجه ۱ نشان می‌دهد. بر طبق این شکل دمای کمینه دوره رویشی در کل زمین‌های کشاورزی و کل شهرستان از ۴-۵/۹ درجه سانتی‌گراد در نوسان است. با توجه به این دامنه، این متغیر اقلیمی محدودیتی جهت کشت زعفران در منطقه ایجاد نخواهد کرد؛ به‌طوری‌که کل منطقه مورد مطالعه در طبقه بسیار مناسب ( $S_1$ ) قرار گرفت. نتایج حاصل از مطالعه امیرشکاری و همکاران (Amirshakari et al., 2007) در بررسی تأثیر دمای محیط ریشه، به همراه

سانتی‌گراد رشد مناسب‌تری داشتند. این نتیجه با نظر پلسنر و همکاران (Plessner et al., 1990) که معتقد بودند دمای مناسب برای رشد برگ‌های زعفران ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد و افزایش دما از ۲۰ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد سبب محدودیت رشد برگ‌های زعفران می‌شود، هم‌خوانی دارد.

اندازه پیاز و جیبرلین بر رشد رویشی زعفران زراعی نشان داد که دمای اطراف ریشه، رشد اندام‌های هوایی گیاه زعفران را تحت‌تأثیر قرار داده، به این صورت که حرارت‌های ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد، حرارت‌های مناسب برای افزایش مقدار برگ در زعفران بوده، ولی برگ‌ها در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه



شکل ۴. نقشه‌های دمای متوسط سالانه، دمای بیشینه زایشی، دمای بیشینه رویشی شهرستان آزاد شهر جهت کشت زعفران  
 Fig.4. Maps of annual, reproductive and growth period temperatures in Azadshahr Township for saffron planting

جدول ۵. نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای دمای بیشینه دوره‌های رویشی، زایشی و متوسط سالانه در شهرستان آزادشهر

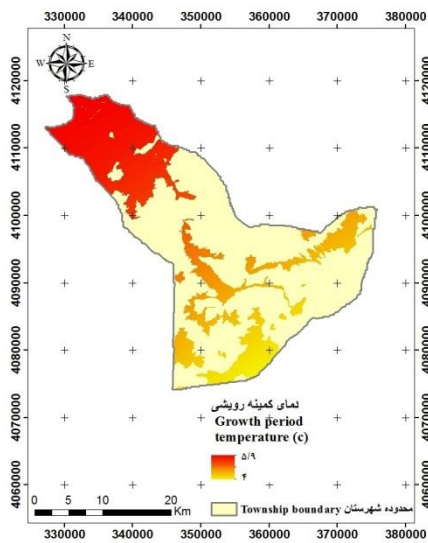
Table 5. Results of interpolation analysis for maximum temperatures in the reproductive, growth periods and annual in Azadshahr Township

روش <i>Method</i>	مدل / توان / درجه <i>Model/ Power/Degree</i>	خطای برآورد <i>RMSE</i>			انحراف استاندارد عمومی <i>GSD</i>			اولویت بندی <i>Ranking</i>		
		رویشی <i>Growth</i>	زایشی <i>Reproductive</i>	سالانه <i>Annual</i>	رویشی <i>Growth</i>	زایشی <i>Reproductive</i>	سالانه <i>Annual</i>	رویشی <i>Growth</i>	زایشی <i>Reproductive</i>	سالانه <i>Annual</i>
وزن‌دهی معکوس فاصله <i>Inverse Distance Weighted</i>	توان ۱ <i>Power 1</i>	0.98	-	0.696	0.075	-	0.053	5	-	9
	توان ۲ <i>Power 2</i>	0.93	-	0.631	0.071	-	0.048	4	-	6
	توان ۳ <i>Power 3</i>	0.90	-	0.595	0.069	-	0.045	3	-	5
چندجمله‌ای موضعی <i>Local Polynomial Interpolation</i>	درجه ۱ <i>Degree 1</i>	1.31	1.89	0.779	0.100	0.145	0.059	9	5	10
	درجه ۲ <i>Degree 2</i>	1.73	2.55	0.976	0.133	0.196	0.075	10	6	11
	درجه ۳ <i>Degree 3</i>	1.26	5.93	0.325	0.096	0.456	0.025	8	7	1
کریجینگ معمولی <i>Ordinary Kriging</i>	دایره‌ای <i>Circular</i>	0.69	1.57	0.516	0.069	0.157	0.051	2	3	2
	کروی <i>Spherical</i>	0.57	1.55	0.524	0.057	0.155	0.052	1	2	3
	نمایی <i>Exponential</i>	0.69	1.37	0.557	0.069	0.137	0.055	2	1	4
	گوسی <i>Gaussian</i>	1.21	1.62	0.640	0.121	0.162	0.064	6	4	8
	ثابت <i>Stable</i>	1.23	1.37	0.637	0.123	0.137	0.063	7	1	7

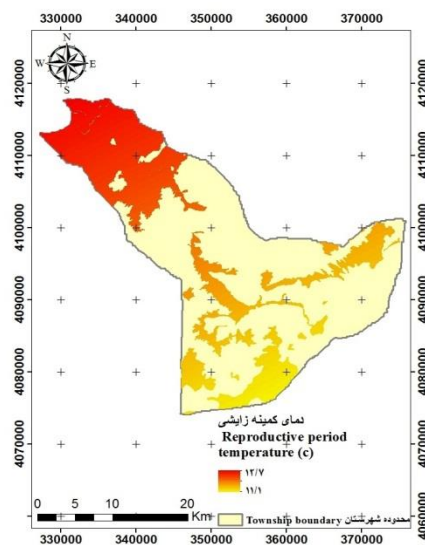
جدول ۶. نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای دمای کمینه در دوره‌های زایشی، رویشی و رکود در شهرستان آزادشهر

Table 6. Results of interpolation analysis for minimum temperatures in the reproductive, growth and dormancy periods in Azadshahr Township

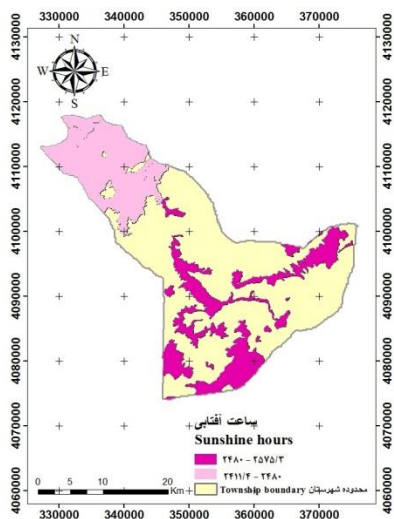
روش Method	مدل/توان/درجه Model/ Power/Degree	خطای برآورد RMSE			انحراف استاندارد عمومی GSD			اولویت‌بندی Ranking		
		زایشی Reproductive	رویشی Growth	دوره رکود Dormancy	زایشی Reproductive	رویشی Growth	دوره رکود Dormancy	زایشی Reproductive	رویشی Growth	دوره رکود Dormancy
وزن‌دهی معکوس فاصله Inverse Distance Weighted	توان ۱ Power1	-	1.15	0.92	-	0.088	0.070	-	6	۴
	توان ۲ Power2	-	0.95	0.90	-	0.073	0.069	-	4	3
	توان ۳ Power3	-	0.82	0.89	-	0.063	0.068	-	2	2
چندجمله‌ای موضعی Local Polynomial Interpolation	درجه ۱ Degree1	0.82	0.77	0.90	0.063	0.059	0.069	1	1	3
	درجه ۲ Degree2	1.13	1.21	0.70	0.086	0.093	0.053	5	7	1
	درجه ۳ Degree3	4.25	3.56	2.4	0.326	0.273	0.184	8	9	6
کریجینگ معمولی Ordinary Kriging	دایره‌ای Circular	0.91	0.94	1.24	0.091	0.094	0.124	3	3	5
	کروی Spherical	0.88	0.98	1.24	0.088	0.095	0.124	2	4	5
	نمایی Exponential	1.00	1.12	1.24	0.1	0.112	0.124	4	5	5
	گوسی Gaussian	1.93	1.26	1.24	0.193	0.126	0.124	6	8	5
	ثابت Stable	1.94	1.26	1.24	0.194	0.126	0.124	7	8	5



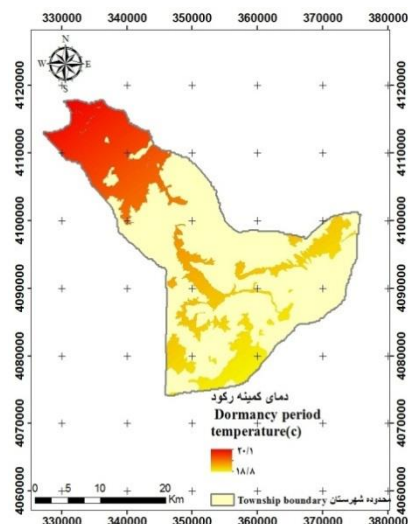
ب



الف



د



ج

شکل ۵. نقشه‌های دمای کمینه دوره زایشی، دوره رکود، دوره رویشی و ساعات آفتابی در شهرستان آزادشهر

Fig. 5. Maps of minimum temperature in reproductive, dormancy and growth periods and sunshine hours in Azadshahr Township

شرایط مطلوبی را برای رشد این گیاه در این منطقه فراهم می‌سازد.

#### ساعات آفتابی

تهیه نقشه ساعات آفتابی با استفاده از روش چندجمله‌ای موضعی درجه ۱ در سطح زمین‌های کشاورزی شهرستان آزادشهر و طبقه‌بندی آن بر اساس نیازهای زراعی-بوم‌شناختی

#### دمای کمینه دوره رکود

روش چندجمله‌ای موضعی درجه ۲ به‌عنوان بهترین روش جهت انجام ارزیابی این متغیر شناخته شد (جدول ۶). شکل ۵ نقشه دمای کمینه دوره رکود در زمین‌های کشاورزی و در کل شهرستان آزادشهر و تغییرات آن را (۱۸/۸ تا ۲۰/۱ درجه سانتی‌گراد) نشان می‌دهد. این محدوده دمایی در کلاس تناسب بسیار مناسب ( $S_1$ ) جهت کشت زعفران قرار گرفت که

کیفیت آن تأثیر می‌گذارد که هرچه این مقدار بیشتر باشد زعفران نیز از کیفیت بهتری برخوردار خواهد بود (Arsalani et al., 2015). در امکان‌سنجی نواحی مستعد کشت زعفران در دشت کاشمر مشخص شد، بیش‌ترین مساحت منطقه (پهنه بسیار مناسب) دارای ساعات آفتابی بین ۳۱۰۰-۳۰۰۰ ساعت می‌باشد (Alavizadeh et al., 2013).

زعفران نشان داد که زمین‌های منطقه مورد مطالعه در دو پهنه قرار می‌گیرند (جدول ۷). براساس نتایج بدست آمده ۷۵/۲۷ درصد از کل شهرستان از ساعت آفتابی بالایی برخوردار بوده که نواحی جنوبی تا مرکز شهرستان را شامل می‌شود و زمین‌های شمالی منطقه دارای ساعت آفتابی کم‌تری نسبت به نواحی جنوبی می‌باشند (شکل ۵). گزارش شده است که مجموع ساعت آفتابی فصل گل‌دهی زعفران بر

جدول ۷. پهنه‌بندی میزان ساعت آفتابی در زمین‌های کشاورزی و در شهرستان آزادشهر جهت کشت زعفران

Table 7. Zoning of sunshine hours in Azadshahr Township for saffron planting

ارزش کیفی Quality value	سهام هر پهنه نسبت به کل (درصد)		مساحت (هکتار)		ساعات آفتابی Sunshine hours
	Zone area to total area (%)		Area (ha)		
	زمین‌های کشاورزی Agricultural land	شهرستان Township	زمین‌های کشاورزی Agricultural land	شهرستان Township	
مناسب (S <sub>2</sub> ) Suitable (S <sub>2</sub> )	75.27	47.71	64740.04	15264.89	2480-2575.32
نیمه مناسب (S <sub>3</sub> ) Semi Suitable (S <sub>3</sub> )	24.73	52.29	21272.57	16730.42	2411.39-2480

قائنات (نیمه مهر تا نیمه آبان) به ۵/۱ روز می‌رسد. بنابراین کم‌بودن تعداد روز یخبندان کاشمر نسبت به قائنات به‌خصوص در هنگام چیدن گل، برای کشت زعفران در کاشمر نسبت به قائنات یک مزیت به‌شمار می‌آید (Arsalani et al., 2015).

#### رطوبت نسبی

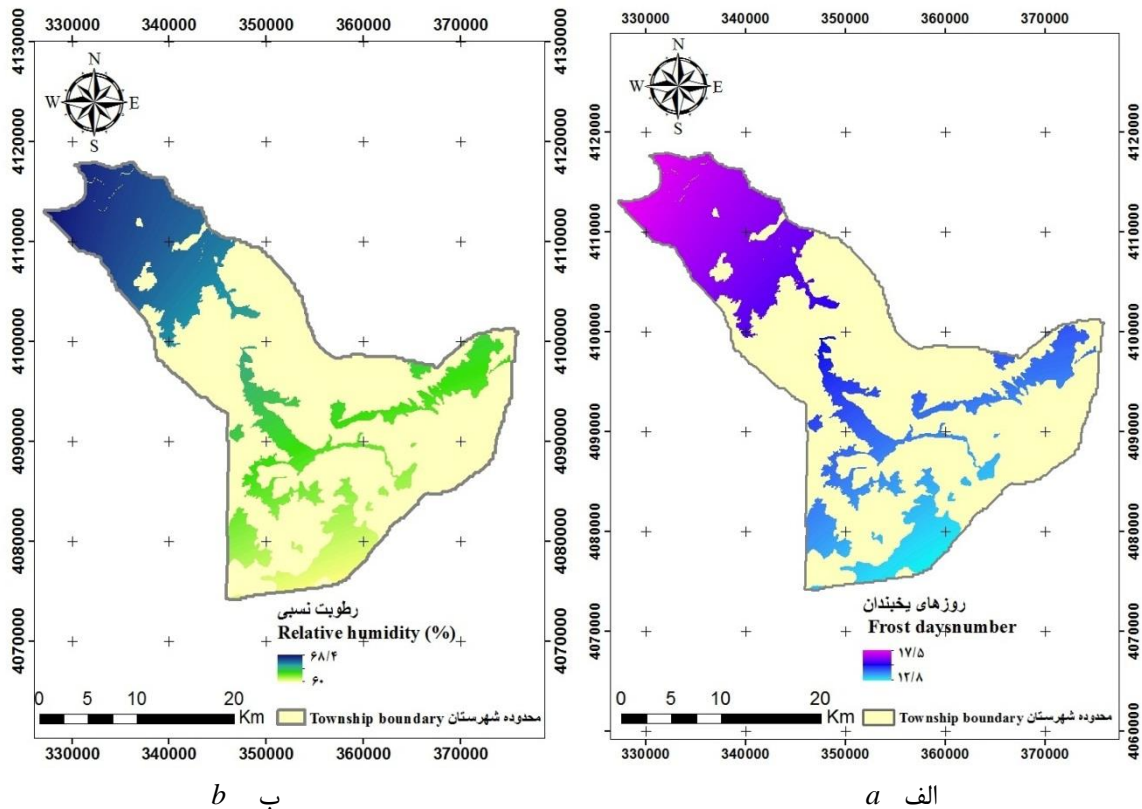
بر طبق نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی جهت تخمین رطوبت نسبی در شهرستان آزادشهر، روش چندجمله‌ای درجه ۱ به‌عنوان برترین روش انتخاب شد (جدول ۸). نقشه متوسط رطوبت نسبی سالانه در زمین‌های کشاورزی شهرستان در شکل ۶ نشان داده شده است.

دامنه تغییرات این متغیر از ۶۰ تا ۶۸/۴ درصد در شهرستان در نوسان است. این میزان رطوبت از نواحی جنوبی به مناطق شمالی افزایش می‌یابد. اصولاً زعفران به رطوبت بالا حساس بوده و رطوبت بالا به پیاز گیاه آسیب می‌رساند (Ataei Azimi & Hashemlooyan, 2007). هرچند عده‌ای از محققان عقیده دارند به‌دلیل اینکه زعفران در فصل سرد و مرطوب سال رشد می‌کند، رطوبت نسبی برای آن اهمیت خاصی دارد، اما اهمیت آن به اندازه بارش و دما نیست (Mojarad & Ghaforzadeh, 2014).

#### روزهای یخبندان

روش چندجمله‌ای موضعی درجه ۱ از جهت دارا بودن کم‌ترین میزان خطای برآورد و دقت بالاتر نسبت به سایر مدل‌ها، به‌عنوان بهترین مدل روزهای یخبندان جهت برآورد انتخاب شد (جدول ۸). نقشه حاصل از درون‌یابی روزهای یخبندان در شهرستان آزادشهر نشان می‌دهد که دامنه تغییرات این متغیر از ۱۲/۸ تا ۱۷/۵ روز می‌باشد (شکل ۶). نواحی جنوبی شهرستان دارای کم‌ترین تعداد روزهای یخبندان نسبت به قسمت‌های شمالی است. بررسی‌ها نشان داد که زمین‌های منطقه در کلاس بسیارمناسب جهت کشت زعفران از نظر این متغیر قرار گرفتند. اصولاً وقوع یخبندان‌های پاییزی در زمان گل‌دهی زعفران بر عملکرد آن تأثیر بسیار زیان‌باری دارد (Nokandi, 1999). مجرد و غفوری‌زاده (Mojarad & Ghaforzadeh, 2014) در پژوهشی میانگین تعداد روز یخبندان در دوره رشد زایشی را برای زعفران ۱۶/۵ روز و کم‌تر معرفی کردند. علوی‌زاده و همکاران (Alavizadeh et al., 2013) طبقه بسیارمناسب جهت توزیع دوره یخبندان را در دشت کاشمر، بین ۲۰-۵۰ روز در سال طبقه‌بندی کردند. در مقایسه تأثیر عوامل هواشناسی بر عملکرد زعفران در دو شهرستان کاشمر و قائنات نتایج نشان داد، در فصل گل‌دهی کاشمر (نیمه آبان تا نیمه آذر) تعداد روز یخبندان ۴/۵ روز است و در فصل گل‌دهی





شکل ۶. نقشه تخمین تعداد روزهای یخبندان و رطوبت نسبی در شهرستان آزادشهر  
 Fig.6. Maps of frost daysnumber and relative humidity in Azadshahr Township

### نتیجه‌گیری

شناسایی توانمندی‌ها و محدودیت‌های محیطی کشت زعفران در شهرستان آزادشهر مشخص شد که ۱۸/۵۲ درصد از زمین‌های کشاورزی در نواحی مرکزی و غربی به دلیل بارش سالانه بیش از ۴۰۰ میلی‌متر، رطوبت نسبی بالا به پهنه متوسط (S<sub>3</sub>) اختصاص دارند. از مشخصات طبقات نامناسب می‌توان به بارش دوره زایشی بیش از ۳۰ میلی‌متر، بارش سالانه کم‌تر از ۱۲۰ میلی‌متر، دمای سالانه کم‌تر از ۷/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بالا اشاره کرد.

با ارزیابی صحت نتایج از طریق انطباق با برداشت‌های میدانی، مشخص شد که تمامی نقاط نمونه‌برداری شده از مزارع زعفران، در پهنه‌های بسیار مناسب و مناسب نقشه‌های اقلیمی قرار می‌گیرند. با توجه به نتایج، قرارگیری صحیح مزارع و کشت بجای زعفران در پهنه‌های مناسب، کشت این گیاه را در این شهرستان توجیه‌پذیر می‌نماید. به‌طور کلی، ارزش اقتصادی بالای زعفران، قدرت جذب نیروی کار در هنگام کاشت، داشت و برداشت در فصول بیکاری کشاورزان منطقه از جمله دلایلی هستند که برتری چشم‌گیر زراعت زعفران را به دیگر کاشت‌های غالب در شهرستان آزادشهر آشکار می‌سازد. با

جدول ۸. نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای تعداد روزهای یخبندان، میزان رطوبت نسبی و مجموع ساعات آفتابی در شهرستان آزادشهر

Table 8. Results of interpolation analysis for frost days number, relative humidity and sunshine hours in Azadshahr Township

روش Method	مدل / توان / درجه Model/ Power/ Degree	خطای برآورد RMSE			انحراف استاندارد عمومی GSD			اولویت‌بندی Ranking		
		رطوبت نسبی Relative humidity	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days	ساعات آفتابی Sunshine hours	رطوبت نسبی Relative humidity	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days	ساعات آفتابی Sunshine Hours	رطوبت نسبی Relative humidity	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days	ساعات آفتابی Sunshine Hours
		وزن‌دهی معکوس فاصله Inverse distance weighted	توان ۱ Power 1	7.78	6.32	382.92	5.98	0.702	32.076	9
	توان ۲ Power 2	7.04	6.54	402.90	0.542	0.726	33..575	5	4	8
	توان ۳ Power 3	6.50	6.74	420.15	0.500	0.748	35.012	2	5	9
	چندجمله‌ای موضعی Local polynomial interpolation	درجه ۱ Degree 1	5.74	5.79	349.00	0.442	0.643	29.083	1	1
	درجه ۲ Degree 2	7.10	20.02	496.48	0.546	2.228	41.373	6	6	10
	درجه ۳ Degree 3	14.42	-	4141.49	1.109	-	345.124	10	-	11
کریجینگ معمولی Ordinary Kriging	دایره‌ای Circular	7.20	5.84	381.80	0.553	0.648	31.816	2	2	2
	کروی Spherical	7.26	5.84	381.97	0.558	0.648	31.830	7	2	3
	نمایی Spherical Exponential	7.62	5.84	385.97	0.586	0.648	32.164	8	2	5
	گوسی Gaussian	6.68	5.84	386.23	0.513	0.648	32.185	3	2	6
	ثابت Stable	6.67	5.84	387.37	0.520	0.648	32.280	4	2	7

منابع

- Abtew, W., Obeysekera, J., and Shih, G., 1993. Spatial analysis for monthly rainfall in south Florida. *Water Res. Bull.* 29(2), 179-188.
- Alavizadeh, S.A.M., MonazzamEsmailpour, A., and HosseinzadehKermani, M., 2013. Feasibility of suitable land of saffron cultivation in Kashmar plain using GIS. *J. Saffron Agron. Technol.* 1(1), 71-95. [in Persian with English Summary].
- Amirshakari, H., Soroushzaheh, A., ModarsSanavi, A.M., and JalaliJoran, M., 2007. Effect of root temperature environment, corm size and GA, on growth saffron (*Crocus sativus* L.). *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 14(5), 96-104. [in Persian with English Summary].
- Arsalani, F., Rasouli, J., and Asgharzadeh, A., 2015. Climatic variables effects (rainfall, temperature, relative humidity, number of frost days and sunshine hours) on saffron yield (*Crocus sativus* L.) in Kashmar and Ghaenat. *J. Saffron Crop. Technol.* 3(1), 66-75. [in Persian with English Summary].
- Behdani, M.A., 2005. Ecological zoning and saffron yield variability monitoring in Khorasan. PhD Thesis in Crop Ecology, Agricultural Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. [in Persian with English Summary].
- Behdani, M.A., Koocheki, A., Rezvani, P., and Jami Al-Ahmadi, M., 2008. Agro-ecological zoning and potential yield of saffron in Khorasan-Iran. *J. Biol. Sci.* 8(2), 298-305.
- Chen, H.S., Liu, G.S., Yang, Y.F., Ye, X.F., and Shi, Z., 2010. Comprehensive evaluation of tobacco ecological suitability of Henan province based on GIS. *Agri. Sci. China.* 9, 583-592.
- Esmailzadeh, Y., and Jahanbakhsh, S., 2011. Adaptation of agroclimatic requirements of saffron plant to Moghan plain. *Geograph. Space.* 11(35), 1-18. [in Persian with English Summary].
- Farajzadeh, M., and Mirzabiati, R., 2007. Feasibility of suitable regions for saffron cultivation in Neyshabour plain using GIS. *Modarres J.* 11 (1), 67-91. [in Persian].
- Halevy, A.H., 1990. Recent advance in control of flowering habit of geophytes. *Acta Hort.* 66, 35-42.
- Hashemlooyan, B., and AtaeiAzimi, A., 2007. Saffron. *Zeytoon Mag.* 183, 47-51. [in Persian].
- Hassani-Pak, A., 1998. *Geostatistics*. Tehran: University of Tehran Press, Tehran, Iran. [in Persian].
- Holford, I.C.R., 1973. Phosphate adsorption by soils and its relationship to soil phosphates and plant availability. PhD Thesis London University.
- Irmak, A., and Ranade, P.K., 2008. GIS based estimation of spatial distribution of temperature and evapotranspiration in Nebraska. *American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASABE Paper No.* 083873.
- Jafarbiglou, M., and Mobaraki, Z., 2008. Land use suitability of Qazvin province for saffron cropping based on multi criteria decision methods. *Nat. Geographic. Res.* 66, 101-119. [in Persian with English Summary].
- Jihad Agriculture Organization, 2014. *Statistics Yearbook of 2013-2014*. Statistics and Information Office. [in Persian].
- Kafi, M., Rashed Mohassel, M., Koocheki, A., and Mollafilabi, A., 2002. *Saffron: Technology of Production and Processing*. Zaban and Adab Press. Mashhad, Iran. 276pp. [in Persian].
- Kamyabi, S., HabibiNokhandanand, M., and Rouhi, A.R., 2014. Effect of climatic factors affecting saffron using analytic hierarchy process (AHP); (Case Study Roshtkhar Region, Iran). *J. Saffron Agron. Technol.* 2(1), 75-90. [in Persian with English Summary].
- Kazemi, H., and Ghorbani, K., 2015. Investigation of different interpolation methods for estimation and zoning of rainfall variables in agricultural lands of Aq-Qalat township in order to autumn cereals cropping. *J. Water Soil Conserv.* 22(4), 1-22. [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.). *Iran. J. Field Crops Res.* 7 (2), 592-594. [in Persian with English Summary].
- Koozehgaran, S., MousaviBaygi, M., SanaeiNejhad, S.H., and Behdani, M.A., 2010. Investigation minimum average and maximum, temperatures in South Khorasan in order to identify of suitable regions for

- saffron cultivation using GIS. *J. Water Soil.* 25(4), 892-904. [in Persian with English Summary].
- Masoodian, S., 2003. Analysis of structure monthly temperature in Iran. *Res. J. Esfahan Uni.* 15(1-2), 87-96. [in Persian with English Summary].
- Mekaniki, J., Sadeghi, H., and Fadaei, M., 2015. Environmental capability, suitable pattern for identify regional potential based on agriculture. (Case study: saffron cultivation in Ghayenat and Zeirkooch townships). *Reg. Plann. J.* 19, 43-56. [in Persian with English Summary].
- Mirmousavi, H., Mazidi, A., and Khosravi, Y., 2010. Determination of best Geostatistic method for estimation of rainfall distribution using GIS (Case study: Esfahan province). *Geographic. Spatial.* 30, 105-120. [in Persian with English Summary].
- Mojarad, F., and Ghaforzadeh, M., 2014. Climatic capability of saffron cropping in Kermanshah and Kurdistan provinces. *Geographic. Res.* 2, 87-102. [in Persian with English Summary].
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L., and García-Luis A., 2004. The effect of time of corm lifting and duration of incubation at inductive temperature on flowering in the saffron plant (*Crocus sativus L.*). *Sci. Hort.* 103(1), 79-91.
- Nokandi, A.K., 1999. Climatic variables effects on saffron cultivation in south of Khorasan. M.Sc. Thesis, Geography and Planning College, Esfahan University, 125pp. [in Persian with English Summary].
- Plessner, O., Ziv, M., and Negbi, M., 1990. In vitro corm production in the saffron crocus (*Crocus sativus L.*). *Plant Cell Tiss. Organ. Cultur.* 20(2), 89-94.
- Rashid Sorkhabadi, M., Shahidi, A., and Khashei Sioki, A., 2014. Determine suitable regions for saffron cultivation based on water and soil parameters by analytical hierarchy process (Case study: TorbateHeidariyeh township). *J. Saffron Res.* 1, 58-72. [in Persian with English Summary]
- Sadeghi, S., 2011. An point interpolation in GIS with an emphasis on Kriging Technique. Loza Press, Shiraz, Iran. [in Persian].
- Samanta, S., Pal, B., and Pal, D.K., 2011. Land suitability analysis for rice cultivation based on multicriteria decision approach through GIS. *Inter. Sci. Emerging Technol.* 2(1), 12-21.
- Yazdchi, S., Rasooli, A.A., Mahmoudzadeh, H., and Zarinbaki, M., 2010. Land capability evaluation of Marand township for saffron cropping based on multi criteria decision methods. *J. Water Soil Knowl.* 3, 151-170. [in Persian with English Summary].
- Zabihi, A., Solaymani, K., and Shabani, M., 2011. Investigation of annual rainfall spatial distribution by geostatistical methods (Case study: Qom province). *Nat. Geograph. Res.* 43(78), 102-112. [in Persian with English Summary].



**Original Article:**

***Evaluation of Saffron Cultivation Development in Azadshahr Township (Golestan Province) with Emphasis on Climatic Parametrs***

***Fahimeh Maleki<sup>1</sup>, Hossein Kazemi<sup>2\*</sup>, Asieh Siahmarguee<sup>3</sup> and Behnam Kamkar<sup>4</sup>***

*1-MSc Student of Agroecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran*

*2-Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran*

*3-Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran*

*4- Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran*

*\*Corresponding author E-mail: hkazemi@gau.ac.ir*

*Received 12 March 2018; Accepted 15 September 2018*

**Abstract**

*In Iran, saffron is important in many aspects such as high water productivity, low inputs agricultural system, employment and income generation of villages also in terms of developing non-oil exports. In order to investigation of climatic factors in Azadshahr Township (Golestan province) for development of saffron cropping, spatial analysis of Geographic Information System (GIS) was used. At first, thematic maps of climatic variables included annual rainfall, rainfall of reproductive and growth periods, annual average temperature, maximum temperature of reproductive and growth periods, minimum temperature of reproductive, growth and minimum dormancy periods, sunshine hours, relative humidity and frost daysnumber were provided. In this research, climatic data from 137 synoptic, climatology and rain-gauge stations were used. For estimation of these variables, geostatistical and classic interpolation methods included Kriging, Inverse Distance Weighting (IDW) and Local Polynomial Interpolation (LPI) techniques were used and the best method was selected according to RMSE in ArcGIS media. The results showed that total boundary was classified based on annual rainfall in three classes included high suitable, suitable, and semi-suitable zones for saffron planting. Also, in the viewpoint of rainfall in reproductive phase about 74.48% of agricultural lands in central and north of this township was located in non-suitable zone. But, some variables such as rainfall of growth period, annual average temperature, maximum temperature of reproductive period, minimum temperature of reproductive period, minimum temperature of growth period, minimum temperature of dormancy, sunshine hours and frost daysnumber had not the limitation for development of saffron cropping. Assessment of obtained results by field survey from current saffron fields were determined that the all sampling points located in high suitable and suitable zones of climatic maps. In general, development of saffron cultivation according to climatic variables is possible in south area of Azadshahr Township.*

**Keywords:** *Climatic requirements, Geostatistic, GIS, Rainfall, Temperature*