

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۶

Z. Rajabi  
M. B. Behyar, PhD  
H. A. Ghayoor, PhD  
V. Ezatian, PhD  
A. Gandomkar, PhD

زهرة رجیبی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران  
محمدباقر بهیار، عضو هیئت علمی پژوهشکده هواشناسی، تهران  
حسنعلی غیور، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران  
ویکتوریا عزتیان، مرکز از نسنجی اداره کل هواشناسی اصفهان  
امیرگندمکار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران

E-mail: rajabizohreh@gmail.com

شماره مقاله: ۱۰۱۲ صص: ۲۵۲-۲۳۹  
وصول: ۹۳/۱/۲۰ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲

## محاسبه تبخیر و تعرق زعفران با روش پنمن مونتیث و نیاز آبی آن در استان اصفهان

### چکیده

افزایش بهره‌وری آب، یکی از راهکارهای مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی و افزایش بازده مصرف آب است. برای بهبود بهره‌وری مصرف آب در شبکه‌های آبیاری، تعیین دقیق نیاز آبی گیاهان و برآورد دقیق مقدار تبخیر و تعرق، امری ضروری است که به کمک آن می‌توان مدیریت مصرف آب در کشاورزی را بهبود بخشید. در این تحقیق عناصر آب و هوای دما، بارش و رطوبت نسبی روزانه در دوره آماری ۱۹۹۳-۲۰۰۸ میلادی با برنامه کلکیولیت در نرم افزار اکسل محاسبه و مقدار تبخیر و تعرق روزانه با روش پنمن مونتیث، نیاز آبی و بارش در فصول مختلف رشد گیاه زعفران مشخص گردید. نتایج نشان داد ایستگاه‌های غرب و جنوب غرب استان دمای لازم برای کسب درجه-روز گیاه به دست نمی‌آید. با توجه به اینکه تأمین دمای مورد نیاز گیاه، اولین عامل رشد زعفران است، این ایستگاه‌ها برای کشت زعفران مناسب نیستند. فصول رشد زعفران از اکتبر (مهر) تا اردیبهشت است. در دوره رشد زعفران، در ایستگاه اردستان با ۵۲۸/۱ میلی متر، بیشترین نیاز آبی و ایستگاه کاشان با ۲۷۹ میلی‌متر، کمترین نیاز آبی اندازه‌گیری شده است. در ایستگاه اردستان با ۴۰۷ میلی‌متر، بیشترین مقدار آبیاری سالانه و در ایستگاه گلپایگان ۱۰۷ میلی‌متر کمترین مقدار آبیاری سالانه محاسبه شده است

**واژه‌های کلیدی:** زعفران، تبخیر و تعرق مرجع، ضریب گیاهی، نیاز آبی، آبیاری سالانه

### مقدمه

مطالعه و بررسی تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای ارائه الگوی کشت مناسب و بهینه‌سازی استفاده از منابع آب موجود در دوره‌های آبی ضروری است (گل کار حمزیه یزد و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۲۰). بر اساس استاندارد فائو، تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع مانند چمن در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید؛ به طوری که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (شریفان و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۸۱). استفاده از تشت تبخیر به علت سادگی، سهولت تفسیر داده‌های آن و داشتن دقت خوب در

مناطق مرطوب برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع مناسب است (ایرماک<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۲)؛ اما در آب و هواهای خشک برآوردهای تشت تبخیر کمتر از واقعیت است (رزبرگ و پاورز، ۱۹۷۰<sup>۲</sup>). تحقیقات مختلف در نقاط مختلف جهان نشان دهنده این نکته است که دقت مقادیر برآورد شده با روش پنمن مانیتث فائو در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسمتری، دقیق‌تر است (آلن<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵). رانا و کترجی<sup>۴</sup> (۱۹۹۸) در تحقیقی که در جنوب ایتالیا بر روی حساسیت اجزای مختلف معادله پنمن مانیتث بر روی گیاه مرجع چمن و گیاهان تحت استرس انجام دادند، مشخص شد که برای گیاه مرجع چمن، مقاومت آیرودینامیکی و پایداری گیاه، نقش اساسی را در تبخیر و تعرق دارد و در گیاهان تحت تنش بلندقد فشار بخار آب و در کوتاه‌قدها مقاومت گیاهی دارای نقش اساسی است. پورمحمدی و همکاران (۱۳۷۸: ۷۵) بر روی تأثیر هر یک از عوامل اقلیمی بر روی تبخیر و تعرق در حوزه منشاد یزد با استفاده از معادله پنمن مانیتث و روش تجزیه عاملی تحقیق کردند. نتیجه نشان داد در فصل زمستان و بهار کمینه دما و در فصل پاییز و تابستان بیشینه دما بیشترین نقش را بر روی تبخیر و تعرق داشته است. احسانی و همکاران (۱۳۸۸: ۱۶) در این مطالعه مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی را با استفاده از روش پنمن -مانیتث فائو و استفاده از داده‌های آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک ساوه و خصوصیات گیاه (مرتع) محاسبه کردند. نتایج نشان داد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره فصل رویش در منطقه ۶ برابر میانگین تبخیر و تعرق واقعی است و میزان تبخیر و تعرق واقعی ابرابر میانگین بارندگی دوره آماری فصل رویش بوده است. صیادی و همکاران (۱۳۸۸: ۷) میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه تبریز را بر اساس مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی RBF و MLP تخمین زدند. نتایج نشان داد تنها با استفاده از دو پارامتر دمای میانگین و سرعت باد به عنوان ورودی به این دو نوع شبکه می‌توان میزان تبخیر و تعرق مرجع را با دقت قابل قبولی تخمین زد. طالبی و همکاران (۱۳۸۹: ۱۰۰) عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو-پنمن مونیتث را در ایستگاه‌های یزد، طبس و مرودشت اندازه‌گیری کردند. بر این اساس، تغییرات دو پارامتر بیشینه دما و سرعت باد در سال بیشترین تأثیر را در نوسان‌های تبخیر و تعرق در هر سه ایستگاه داشته است. محمدی و همکاران (۱۳۸۹: ۱۵۸) میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های استان اصفهان را بر اساس معادله‌های تجربی اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد روش بلانی کریدل به تشت تبخیر بسیار نزدیک بوده است. همچنین، نتایج حاصل از پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق در سطح استان نشان داد از غرب به شرق و از جنوب به شمال بر میزان تبخیر و تعرق افزوده می‌شود. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۰: ۷۵) برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج در منطقه آمل را بر اساس روش پنمن مانیتث فائو و تشت تبخیر کلاس A با داده‌های لایسمتری مقایسه کردند. نتایج مطالعات نشان داد استفاده از روش پنمن مانیتث فائو در محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع و اعمال ضریب گیاهی تبخیر و تعرق برنج در این منطقه ۵-۴ درصد برآورد بیشتر نسبت به مقادیر اندازه‌گیری لایسمتر دارد. میرموسوی و همکاران (۱۳۹۱: ۴۸) تبخیر و تعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گیاه زیتون را در استان کرمانشاه برآورد کردند. نتایج نشان داد بیشترین نیاز آبی سالانه با مقدار ۹۲۳ میلی‌متر در ایستگاه روانسر به دست آمد. خسروشاهی (۱۳۹۲: ۳۰) نیاز آبی گونه سمر را در خلیج عمان ایرانی محاسبه کرد. نتایج تحقیق نشان داد که دشت آزادگان با ۲۵۵

1-Irmak

2- Rosenberg and Powers

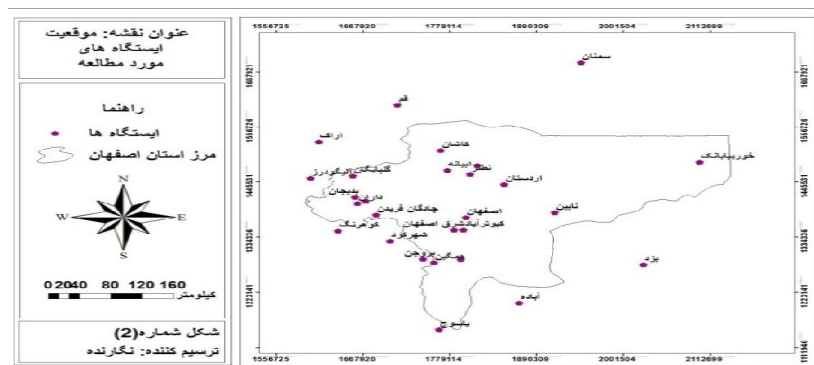
3- Allen

4- Rana and Katerji

میلیمتر در طول هفت ماه سال بیشترین و چابهار با ۱۷۲ میلیمتر در طول نه ماه از سال کمترین مقدار را برای آبیاری تکمیلی نیاز دارد. سپهوند (۱۳۸۸:۶۳) نیاز آبی گندم و کلزا را در مناطق غرب ایران محاسبه نمود. نتایج به دست آمده نشان داد در سال های پرباران مناطق غرب کشور بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی بیشتر بر کشت کلزا برتری دارد نسبت به کشت پاییزه گندم. خزایی و همکاران، (۱۳۹۲) کاربرد دستگاه های هواشناسی را در محاسبه نیاز آبی ذرت در منطقه ساوه اندازه گیری نمودند. در این تحقیق مشخص شد با استفاده از داده های طولانی مدت هواشناسی در برآورد دقیق نیاز آبی ذرت و آبیاری بموقع، آب مصرفی کاهش پیدا کرده و موجب افزایش کیفیت ذرت شده است. هدف از این تحقیق، تخمین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه زعفران و محاسبه نیاز آبی آن است تا در راستای برنامه ریزی کشاورزی و محدودیت منابع آب استان اصفهان محصولی برای کشت انتخاب شود که در دوره رشد نیاز آبی کمتری داشته باشد.

### موقعیت جغرافیایی منطقه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۴/۲۹۱ کیلومتر مربع بین ۳۰ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان که در مرکز ایران واقع شده، از شمال به استان های مرکزی، قم و سمنان و از جنوب به استان فارس و کهگیلویه و بویراحمد، از شرق به استان یزد و از غرب به استان های لرستان و چهارمحال بختیاری محدود است (سالنامه آماری استان اصفهان).



شکل ۱) موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه

### داده ها و روش پژوهش

- ۱- آمار روزانه ۲۷ ایستگاه همدید و آب و هوا شناسی سازمان هواشناسی کشور در دوره آماری (۱۹۹۳-۲۰۰۸) واقع در استان اصفهان و استان های همجوار استان اصفهان (جدول ۱)؛
- ۲- استفاده از نرم افزار اس پی اس اس نسخه ۲۰ به منظور بازسازی آماری داده های روزانه آب و هوای از طریق همبستگی و رگرسیون بین ایستگاه فاقد داده شامل ایستگاه اصفهان، چادگان، فریدن، ایبانه، دامنه فریدن، ناین (در محدوده زمانی خاص) و نزدیک ترین ایستگاه دارای داده آماری مجاور به آن شامل ایستگاه های کبوترآباد، شرق اصفهان، نظنز، داران و اردستان؛

- ۳- استفاده از برنامه کلکیولیت در نرم افزار اکسل به منظور محاسبه نیاز آبی و اندازه گیری تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه‌های استان اصفهان از طریق فرمول پنمن مونتیت؛
- ۴- ترسیم نمودارهای تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاه زعفران در مراحل مختلف رشد آن با نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷؛
- ۵- استفاده از برنامه کلکیولیت در نرم افزار اکسل به منظور محاسبه آماری داده های روزانه آب و هوای (تاریخ آخرین کشت، محاسبه درجه-روز، احتمال یخبندان پاییزه) مورد نیاز کشت گیاه زعفران و تهیه نقشه بارش استان؛
- ۶- انتخاب احتمال ۸۰ درصدی وقوع رخداد‌های آب و هوای گیاه زعفران به علت نزدیکی به واقعیت این رخدادها در طبیعت در علم کشاورزی؛
- ۷- استفاده از نرم افزار سرفر نسخه ۱۲ به منظور تهیه نقشه‌های آب و هوای از طریق روش میانبایی کریجینگ و تهیه لایه‌های رستری با سیستم تصویر مخروطی مشابه لامبرت ؛
- ۸- استفاده از نرم افزار گلوبال مپر نسخه ۱۵ به منظور بارگیری (برش) نقشه‌ها ؛
- ۹- استفاده از نرم افزار آرک جی آی اس نسخه ۱۰/۲ به منظور ترسیم نهایی نقشه‌های آب و هوایی گیاه زعفران.

جدول ۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع (متر)	محدوده قرارگیری (استان)
			عرض N	طول E		
۱	دامنه فریدن	آب و هواشناسی	۰۱ ۳۳	۲۹ ۵۰	۲۳۰۰	اصفهان
۲	چادگان	آب و هواشناسی	۴۶ ۳۲	۳۸ ۵۰	۲۱۰۰	اصفهان
۳	همگین	آب و هواشناسی	۵۵ ۳۱	۲۷ ۵۱	۲۱۵۰	اصفهان
۴	بدیجان	آب و هواشناسی	۰۵ ۳۳	۲۰ ۵۰	۲۳۰۰	اصفهان
۵	ایبانه	آب و هواشناسی	۳۴ ۳۳	۳۵ ۵۱	۲۲۳۴	اصفهان
۶	جنگل بانی بادرود	آب و هواشناسی	۴۲ ۳۳	۰ ۵۱	۱۰۵۹	اصفهان
۷	داران	همدید	۵۸ ۳۲	۲۲ ۵۰	۲۲۹۰	اصفهان
۸	شهرضا	همدید	۵۹ ۳۱	۵۰ ۵۱	۱۸۵۴,۲	اصفهان
۹	کبوتر آباد	همدید	۳۱ ۳۲	۵۱ ۵۱	۱۵۴۵	اصفهان
۱۰	شرق اصفهان	همدید	۴۰ ۳۲	۵۲ ۵۱	۱۵۴۳	اصفهان
۱۱	گلپایگان	همدید	۲۸ ۳۳	۱۷ ۵۰	۱۸۷۰	اصفهان
۱۲	اصفهان	همدید	۳۷ ۳۲	۴۰ ۵۱	۱۵۵۰,۴	اصفهان
۱۳	نطنز	همدید	۳۲ ۳۳	۵۴ ۵۱	۱۶۸۹,۹	اصفهان
۱۴	نابین	همدید	۵۱ ۳۲	۰۵ ۵۳	۱۵۴۹	اصفهان
۱۵	کاشان	همدید	۵۹ ۳۳	۲۷ ۵۱	۹۸۲,۳	اصفهان
۱۶	اردستان	همدید	۲۳ ۳۳	۲۳ ۵۲	۱۲۵۲,۴	اصفهان
۱۷	خور و بیابانک	همدید	۴۷ ۳۳	۰۵ ۵۵	۸۴۵	اصفهان

چهارمحال بختیاری	۲۱۹۷	۵۱	۱۸	۳۱	۵۷	همدید	بروجن	۱۸
چهار محال بختیاری	۲۲۸۵	۵۰	۰۷	۳۲	۲۶	همدید	کوه رنگ	۱۹
چهار محال بختیاری	۲۰۴۸,۹	۵۰	۵۱	۳۲	۱۷	همدید	شهرکرد	۲۰
لرستان	۲۰۲۲	۴۹	۴۲	۳۳	۲۴	همدید	الیگودرز	۲۱
مرکزی	۱۷۰۸	۴۹	۴۶	۳۴	۰۶	همدید	اراک	۲۲
فارس	۲۰۳۰	۵۲	۴۰	۳۱	۱۱	همدید	آباده	۲۳
کهگیلویه و بویر احمد	۱۸۳۱	۴۱	۵۱	۳۰	۵۰	همدید	یاسوج	۲۴
قم	۸۷۷,۴	۵۰	۵۱	۳۴	۴۲	همدید	قم	۲۵
سمنان	۲۰۵۷	۵۰	۵۶	۳۲	۲۷	همدید	سمنان	۲۶
یزد	۱۲۳۷,۲	۵۴	۱۷	۳۱	۵۴	همدید	یزد	۲۷

### مشخصات گیاه‌شناسی زعفران

۱- زعفران با نام علمی *Crocus Sativus L.* و با نام انگلیسی Saffron از خانواده زنبقیان<sup>۱</sup> گیاهی است پایا (چند ساله) علفی و بدون ساقه و پیازدار (در اصطلاح عموم بنه نامیده می شود) (امیرقاسمی، ۱۳۸۷: ۲۳). پیاز یا بنه زعفران تعداد شش تا نه برگ باریک و تعدادی گل تولید می کند. هرگل زعفران شامل سه کلاله و یک خامه، پس از خشک کردن، زعفران تجاری را تشکیل می دهند. بنابراین، گل زعفران که از نظر تجاری و اقتصادی مهم ترین قسمت آن به حساب می آید، اولین اندامی است که در شروع رشد گیاه زعفران ظاهر می شود (کافی، ۱۳۸۱: ۱۷).

مراحل رشد زعفران بر اساس اندام هوایی آن به سه مرحله تقسیم شده است: الف) مرحله رشد زایشی<sup>۲</sup>: این مرحله ۱۵ تا ۲۵ روز طول می کشد تا گل زعفران ظاهر شود و زمان برداشت محصول نیز به حساب می آید. مطلوبترین دما برای تمایز گل ها در این مرحله ۹ تا ۱۵ درجه سانتی گراد است؛ به طوری که در این مرحله دمای شب از ۱۰ درجه سانتی گراد و دمای روز از ۲۲ درجه سانتی گراد نباید بیشتر شود. همچنین، افت دما به زیر ۵ درجه سانتی گراد باعث کاهش محصول شده، وقوع یخبندان گل را از بین می برد؛ ب) مرحله رویشی<sup>۳</sup>: این مرحله بلافاصله پس از ظهور گل شروع می شود. حداقل دمای قابل تحمل برای گیاه در این دوره حدود ۱۸- تا ۲۲- درجه سانتی گراد بوده و این مرحله به آبیاری نیاز دارد؛ ج) مرحله رکود<sup>۴</sup>: این مرحله منطبق بر فصل گرم سال بوده، زمان خواب پیاز زعفران است. حداکثر دمای قابل تحمل برای گیاه در این دوره ۴۰ درجه سانتی گراد است (میرزاییات، ۱۳۸۴: ۳۵).

۱- زعفران گیاهی است نیمه گرمسیری و در نقاطی که دارای زمستان های ملایم و تابستان های گرم و خشک باشد، به خوبی رشد می کند.

۲- این گیاه از زمان کاشت تا شروع گل دهی به تعداد ۴۱۶ درجه- روز انرژی خورشیدی نیاز دارد.

- 1- Iridaceae
- 2-Generative phase
- 3-Vegetative phase
- 4 -Dormant phase

- ۳- صفر بیولوژیکی یا درجه حرارت پایه<sup>۱</sup> برای گیاه زعفران ۵ درجه سانتی گراد است.
- ۴- گیاه زعفران در ایران بین سطوح ارتفاعی ۱۳۰۰-۲۳۰۰ متر از سطح دریا عملکرد خوبی دارد.
- ۵- از نظر توپوگرافی، زمین هایی با شیب کمتر از ۸٪ مناسب ترین شیب برای کشت زعفران است.
- ۶- زعفران در خاک های سبک با ترکیبی از شن رس و دارای pH بین ۷-۸ درصد، بهترین رشد را دارد.
- ۷- نیاز آبی زعفران ۳۰۰ میلی متر در سال یا ۳۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار است (سعیدی راد، ۱۳۸۹: ۲۹).

### دمای مورد نیاز گیاه زعفران

دمای یکی از عوامل مهم در رشد مطلوب گیاهان به حساب می آید. در صورت افزایش یا کاهش دما از یک حد معین رشد گیاه متوقف می گردد (محمدی، ۱۳۹۰: ۱۵۰). گیاه زعفران چون مقاوم به سرماست، دمای آستانه رشد آن (صفر پایه یا صفر فیزیولوژیک) را ۵ درجه سانتی گراد محاسبه کرده اند. هر گیاه برای رشد به تعدادی درجه-روز دما<sup>۲</sup> نیاز دارد که برای زعفران این مقدار از زمان کاشت تا شروع گل دهی ۴۱۶ درجه-روز است (مبارکی، ۱۳۸۴: ۱۳). تعداد درجه-روز عبارت است از متوسط دمای روزانه منهای دمای آستانه (صفر پایه). بدین منظور، برای تعیین نیاز حرارتی گیاهان در هر مرحله فنولوژی از روش مجموع درجه حرارت مؤثر استفاده شده است. مبنای کار در این روش جمع بندی درجه حرارت های مؤثر؛ یعنی درجه حرارت هایی است که بالاتر از صفر پایه گیاه است و از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$HU = \sum_1^N \left[ \left( \frac{TM - Tm}{2} \right) - Tt \right] \quad (1)$$

HU = واحد حرارتی درجه حرارت های مؤثر است که در طی N روز جمع آوری شده است.

TM = درجه حرارت حداکثر روز      Tm = درجه حرارت حداقل روز

Tt = درجه حرارت پایه یا صفر فیزیولوژیک      N = تعداد روزها در یک مدت زمان مشخص

(محمدی، ۱۳۸۶: ۱۲۵)

### نیاز آبی زعفران

نیاز آبی به مقدار آبی گفته می شود که باید به صورت آبیاری به زمین داده شود تا گیاه با حداکثر توان خود رشد کرده و تولید محصول نماید (میرموسوی، ۱۳۸۹: ۱۲۶). نیاز آبی گیاه از طریق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$ET_0 = KC \times ET_0 \quad (2) \quad \text{ضریب گیاهی} = KC \quad \text{تبخیر و تعرق مرجع} = ET_0$$

بر اساس استاندارد موجود برای محاسبه نیاز آبی در طرح های آب به جای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل مفهوم دیگری به نام تبخیر-تعرق مرجع<sup>۴</sup> به کار می رود (علیزاده، ۲۵۴، ۱۳۹۰).

1 - Base temperature

2) Growth Degree Day

3 - Crop Coefficient

4 - Reference Evapotranspiration

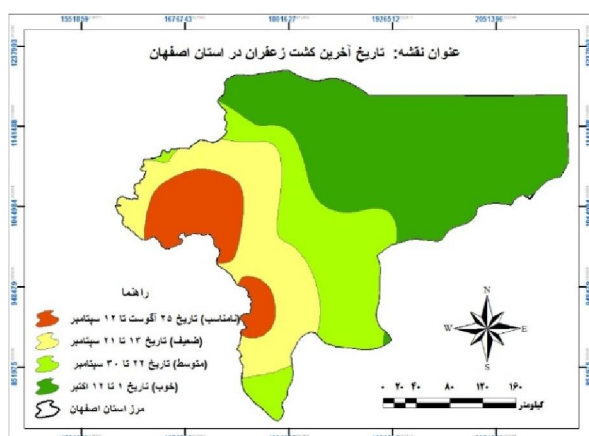
$$ETO = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + Y (900/T + 273)(US)(es - ea)}{\Delta + Y (1 + 0.34 US)}$$

$MJm^{-2}day^{-1}$  = فشار تشعشعات خالص (Rn)       $MJm^{-2}day^{-1}$  = شار حرارتی خاک (G)  
 $U2 =$  (m/s) سرعت باد در ارتفاع دو متری      Kpa = فشار بخار اشباع (es)  
 Kpa = فشار بخار واقعی (ea)       $Kpa^{\circ}C^{-1}$  = شیب منحنی فشار بخار اشباع (Δ)  
 $Kpa^{\circ}C^{-1}$  = ثابت سایکرومتری (Y)      T = دمای میانگین هوا در ارتفاع ۲ متری  
 منبع (بهنیا، ۱۳۸۰، ۱۲)

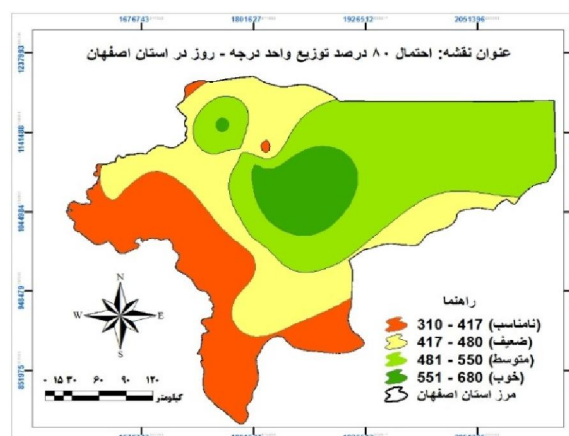
ضریب گیاهی در گیاهان مختلف متفاوت است و به عواملی، مانند: نوع گیاه، مرحله رشد گیاه و شرایط آب و هوایی بستگی دارد. مقدار ضریب گیاهی در طول دوره رشد گیاه تغییر می کند (بایوردی، ۱۳۷۲:۵۶۷). گل دهی مرزعه زعفران در یک دوره ۲۰-۱۵ روزه صورت می گیرد (سعیدی راد، ۱۳۸۹:۷۱). جدول (۲) ضرایب گیاهی و طول دوره های رشد در گیاه زعفران را نشان می دهد.

جدول (۲) ضرایب گیاهی و طول دوره رشد زعفران (مسافری، ۱۳۸۱)

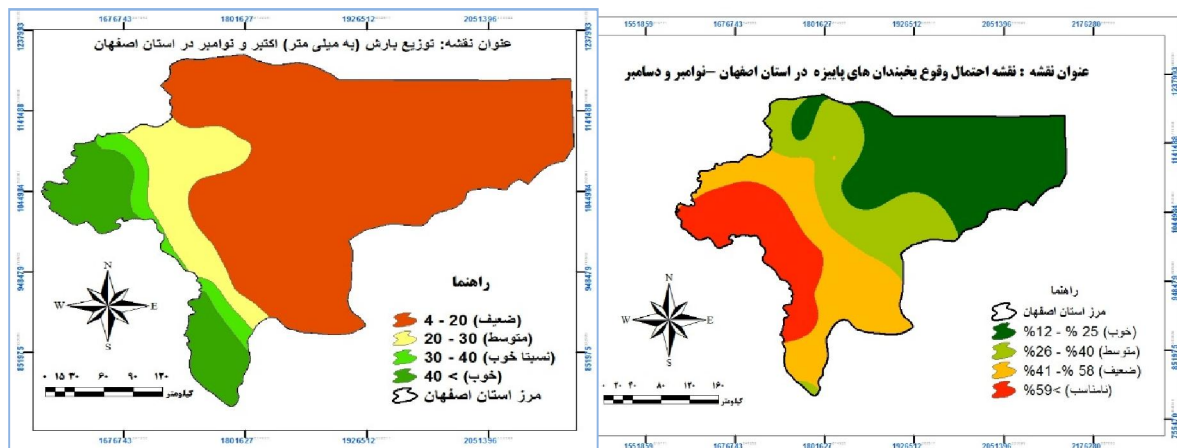
مرحله	طول دوره رشد	KC
اولیه (Initial)	۳۰ روز (از ۱۰ مهر تا ۱۰ آبان)	۰/۴۱
توسعه (Development)	۵۵ روز (از ۱۱ آبان تا ۵ دی)	۰/۶۵
میانی (Mid season)	۱۰۵ روز (از ۶ دی تا ۲۰ فروردین)	۰/۸۵
انتهاهی (Lend-season)	۳۰ روز (از ۲۱ فروردین تا ۲۰ اردیبهشت)	۰/۵۵



شکل (۳) تاریخ آخرین کشت زعفران در استان اصفهان



شکل (۲) توزیع واحد درجه - روز در استان اصفهان



شکل ۵) توزیع بارش در استان اصفهان

شکل ۴) احتمال وقوع یخبندان پاییزه در استان اصفهان

### یافته‌های پژوهش

با توجه به فرمول درجه-روز، نیاز درجه-روز برای گیاه زعفران در ایستگاه‌های استان در جدول (۳) محاسبه شده است. با توجه به شکل (۲) در ایستگاه‌های شرق و شمالی استان شامل ایستگاه‌های اردستان، کاشان، نطنز، خور و بیابانک و ناین به ترتیب بیشترین درجه-روز کسب شده است. در نتیجه، بهترین مناطق کشت زعفران از نظر دما هستند؛ ولی در ایستگاه‌های غرب استان شامل ایستگاه‌های بدیجان، داران، دامنه فریدن، چادگان فریدن، شرق اصفهان، کبوترآباد، همگین و ایستگاه جنگل بانی بادرود در شمال استان، از تاریخ آخرین کشت تا آغاز زمان گل‌دهی زعفران مقدار ۴۱۶ درجه-روز تأمین نمی‌شود. در نتیجه، کشت گیاه زعفران در ایستگاه‌های غربی و جنوب غربی نامناسب است؛ زیرا آب و هوا مناطق غربی استان نیمه‌مرطوب تا مرطوب سرد است. شکل (۲) نشان می‌دهد در هر ایستگاه از تاریخ شروع صفر فیزیولوژیک به مقدار ۴۱۶ درجه-روز به عقب برگشته تا تاریخ آخرین کشت در هر ایستگاه مشخص می‌شود. در این شکل طولانی‌ترین زمان کشت پیاز زعفران در مناطق شرقی و شمال شرقی است. شکل (۳) نشان می‌دهد مناطق شرقی کم‌خطرترین پهنه به لحاظ متأثر شدن از یخبندان‌های پاییزی را به خود اختصاص داده‌اند؛ ولی مناطق غربی استان با احتمال بالای ۵۰ درصد وقوع، وضعیت نامناسبی دارد؛ زیرا مهم‌ترین پارامتر کشت زعفران دماست. شکل (۴) بارش دو ماه اکتبر (مهر) و نوامبر (آبان) را نشان می‌دهد. در مناطق مناسب کشت زعفران بارش در دوره گل‌دهی کم بوده و نیاز آبی گیاه تأمین نمی‌شود؛ در نتیجه نیازمند آبیاری است.

جدول (۳) تقویم زراعی کشت زعفران در استان اصفهان را نشان می‌دهد. در این جدول در ایستگاه‌های استان اصفهان تاریخ شروع گل‌دهی؛ یعنی حساس‌ترین زمان رشد و نمو گیاه زعفران و رسیدن به گل‌دهی، ماه‌های اکتبر (مهر) و نوامبر (آبان) است. زودترین تاریخ شروع گل‌دهی در ۲۷ سپتامبر (شهریور) در ایستگاه ابیانه و دیرترین تاریخ در ۲ نوامبر (آبان) در ایستگاه‌های کاشان و اردستان اتفاق افتاده است. همچنین، دوره گل‌دهی گیاه زعفران که از دیدگاه اقتصادی اهمیت دارد، در دو ماه اکتبر (مهر) و نوامبر (آبان) صورت می‌گیرد. در کل ایستگاه‌های قابل کشت نیز یخبندان پاییزه با تاریخ شروع گل‌دهی همزمان نبوده، بعد از دوره گل‌دهی رخ می‌دهد. ایستگاه اردستان با ۳۰ روز کمترین فاصله و ایستگاه ابیانه با ۶۵ روز بیشترین فاصله از تاریخ شروع گل‌دهی تا آغاز یخبندان پاییزه را دارند.



جدول ۳) مقدار درجه-روز و تعیین تقویم زراعی کشت زعفران در استان اصفهان

ردیف	نام ایستگاه	تاریخ آخرین کشت	تاریخ شروع گل دهی	شروع صفر بیولوژیکی	آغاز یخبندان پاییزه	درجه-روز
۱	ایبانه	۱۴ سپتامبر	۲۶ سپتامبر	۲۲ اکتبر	۲۶ نوامبر	۴۵۲
۲	شهرضا	۱۵ سپتامبر	۱۱ اکتبر	۱۷ اکتبر	۲۷ نوامبر	۴۵۵
۳	گلپایگان	۲۳ سپتامبر	۱۲ اکتبر	۲۹ اکتبر	۳۰ نوامبر	۴۵۶
۴	اصفهان	۲۶ سپتامبر	۱۷ اکتبر	۲۸ اکتبر	۲۹ نوامبر	۴۸۴
۵	نطنز	۲۹ سپتامبر	۲۱ اکتبر	۱۰ نوامبر	۳۰ نوامبر	۵۶۶
۶	ناین	۱۱ اکتبر	۲۲ اکتبر	۸ نوامبر	۴ دسامبر	۵۱۱
۷	کاشان	۱۸ اکتبر	۲ نوامبر	۱۳ نوامبر	۵ دسامبر	۵۸۰
۸	اردستان	۱۰ اکتبر	۲ نوامبر	۱۴ نوامبر	۲ دسامبر	۶۸۲
۹	خوروپابانک	۱۲ اکتبر	۱ نوامبر	۱۳ نوامبر	۱۶ دسامبر	۵۴۵

جدول های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) محاسبه نیاز آبی گیاه در مراحل مختلف رشد زعفران را نشان می دهند. در مرحله اولیه رشد، ایستگاه های اردستان و کاشان به ترتیب نیازمند بیشترین و کمترین نیاز آبی هستند. در مرحله توسعه ایستگاه های ناین و کاشان به ترتیب نیازمند بیشترین و کمترین نیاز آبی هستند. در مرحله میانی ایستگاه های اردستان و کاشان به ترتیب نیازمند بیشترین و کمترین نیاز آبی هستند. اشکال (۶)، (۷)، (۸) و (۹) مقدار تبخیر و تعرق و نیاز آبی به میلی متر در مراحل مختلف رشد زعفران را نشان می دهند. در جدول (۸) در استان اصفهان در ایستگاه های مناسب کشت زعفران (در مراحل مختلف رشد)، ایستگاه اردستان با ۵۲۸/۱ میلی متر بیشترین نیاز آبی را دارد و ایستگاه کاشان با ۲۷۹ میلی متر کمترین نیاز آبی را داراست. دوره رشد زعفران از اکتبر (مهر) تا می (اردیبهشت) است. میانگین بارش ۱۶ ساله ماه های مهر تا اردیبهشت در ایستگاه های قابل کشت زعفران، در جدول (۸) نشان داده شده است. بیشترین بارش با ۲۶۲ میلی متر در ایستگاه گلپایگان و کمترین بارش با ۸۲ میلی متر در ایستگاه خوروپابانک رخ داده است. در ایستگاه اردستان با ۴۰۷ میلی متر بیشترین مقدار آبیاری سالانه و در ایستگاه گلپایگان با ۱۰۳ میلی متر کمترین مقدار آبیاری سالانه زعفران اندازه گیری شد. شکل (۹) مقدار نیاز آبی، بارش و آبیاری سالانه به میلی متر را در یک سال زراعی زعفران در استان اصفهان نشان می دهد.

جدول ۴) میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و نیاز آبی زعفران مرحله اولیه در ایستگاه های استان اصفهان

نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	ناین	کاشان	اردستان	خور و بیابانک
تبخیر و تعرق (mm)	۱۰۹	۱۱۴/۱	۱۰۰	۱۰۶/۲	۱۴۵	۸۲	۱۶۶/۳	۹۸/۱
ضریب گیاهی	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱
نیاز آبی (mm)	۴۵	۴۷	۴۱	۴۴	۵۹/۲	۳۳/۳	۶۸/۲	۴۰/۲

جدول ۵) میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و نیاز آبی زعفران مرحله توسعه در ایستگاه های استان اصفهان

نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	نابین	کاشان	اردستان	خور و بیابانک
تبخیر و تعرق (mm)	۹۹	۸۴	۷۹/۲	۸۲	۱۳۱	۵۸/۳	۱۲۲	۷۸
ضریب گیاهی	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵
نیاز آبی (mm)	۶۴/۳	۵۵	۵۲	۵۳/۱	۸۵	۳۸	۷۹	۵۰/۳

جدول ۶) میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و نیاز آبی زعفران مرحله میانی در ایستگاه های استان اصفهان

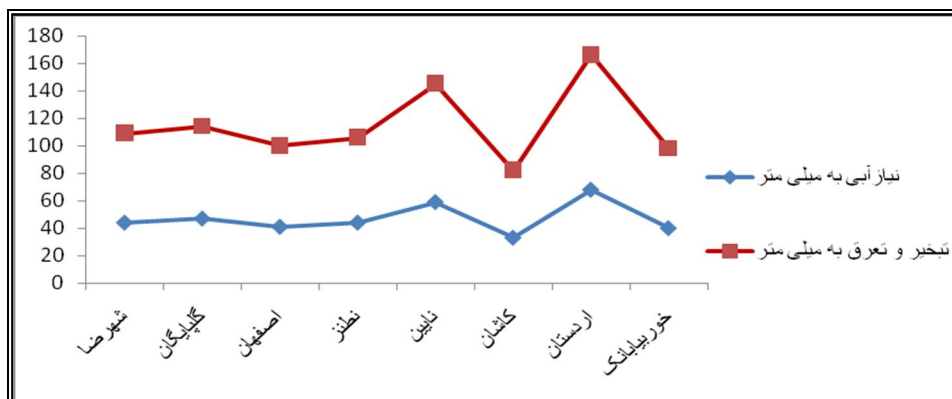
نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	نابین	کاشان	اردستان	خور و بیابانک
تبخیر و تعرق (mm)	۲۴۱	۲۱۲	۲۳۱/۲	۲۱۲	۲۹۸	۱۶۴/۳	۳۱۲	۲۱۸
ضریب گیاهی	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵
نیاز آبی (mm)	۲۰۵	۱۸۰/۱	۱۹۷	۱۸۰/۱	۲۵۳/۲	۱۴۰	۲۶۵	۱۸۵

جدول ۷) میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و نیاز آبی زعفران مرحله انتهایی در ایستگاه های استان اصفهان

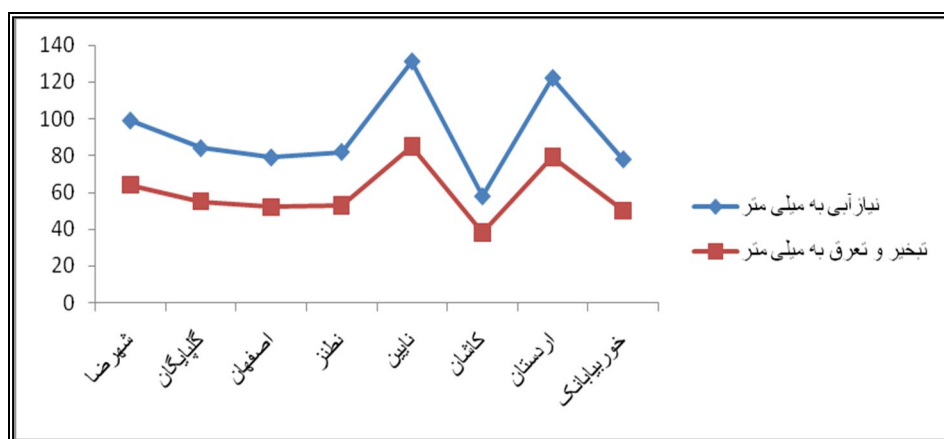
نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	نابین	کاشان	اردستان	خور و بیابانک
تبخیر و تعرق (mm)	۱۵۳	۱۴۱	۱۴۹/۲	۱۴۳	۱۸۴	۱۲۳/۲	۲۱۱	۱۵۹
ضریب گیاهی	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵
نیاز آبی (mm)	۸۴	۷۷/۳	۸۲/۱	۷۹	۱۰۱/۱	۶۸	۱۱۶/۱	۸۷/۴

جدول ۸) میزان تبخیر و تعرق، نیاز آبی و بارش و آبیاری سالانه فصول رشد زعفران (اکتبر تا می) در استان اصفهان

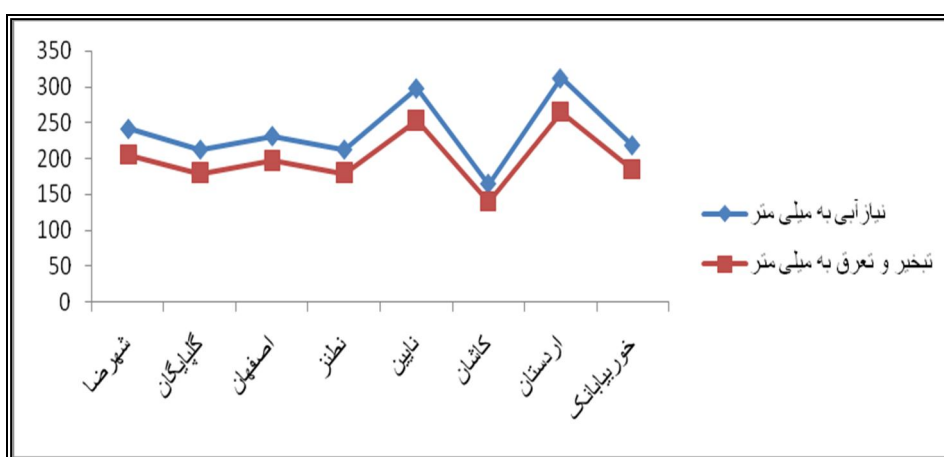
نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	نابین	کاشان	اردستان	خور و بیابانک
تبخیر و تعرق (mm)	۶۰۱/۲	۵۵۱	۵۵۹/۴	۵۴۲/۴	۷۵۷	۴۲۷/۴	۸۱۱	۵۵۲/۱
نیاز آبی (mm)	۳۹۸	۳۵۹	۳۷۱	۳۵۵/۲	۴۹۹	۲۷۹	۵۲۸/۱	۳۶۳
بارش (mm)	۱۴۳	۲۶۲/۲	۱۲۵	۱۹۰/۵	۹۷/۳	۱۳۳/۶	۱۲۳	۸۲/۲
مقدار آبیاری سالانه (mm)	۲۹۰	۱۶۲	۲۶۳	۲۱۲/۲	۴۳۳	۱۷۷	۴۳۷	۳۰۷



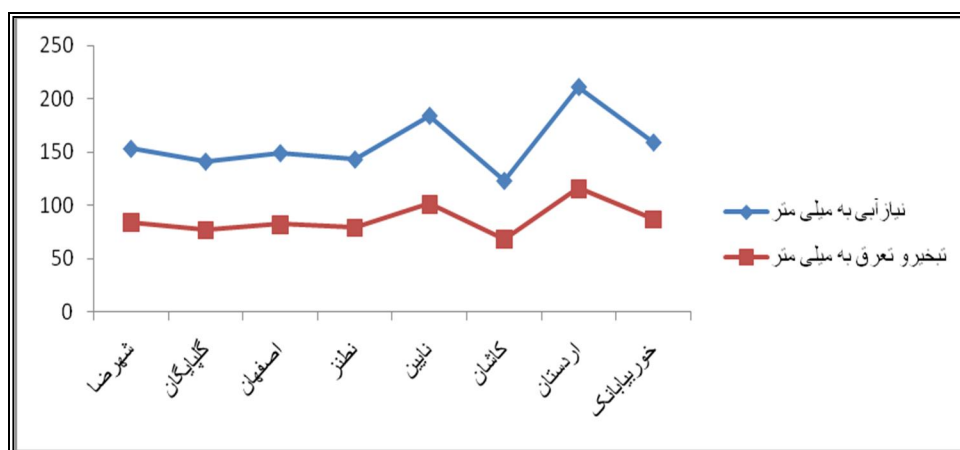
شکل ۶) مقدار تبخیر و تعرق و نیاز آبی مرحله اولیه رشد زعفران در ایستگاه های استان اصفهان



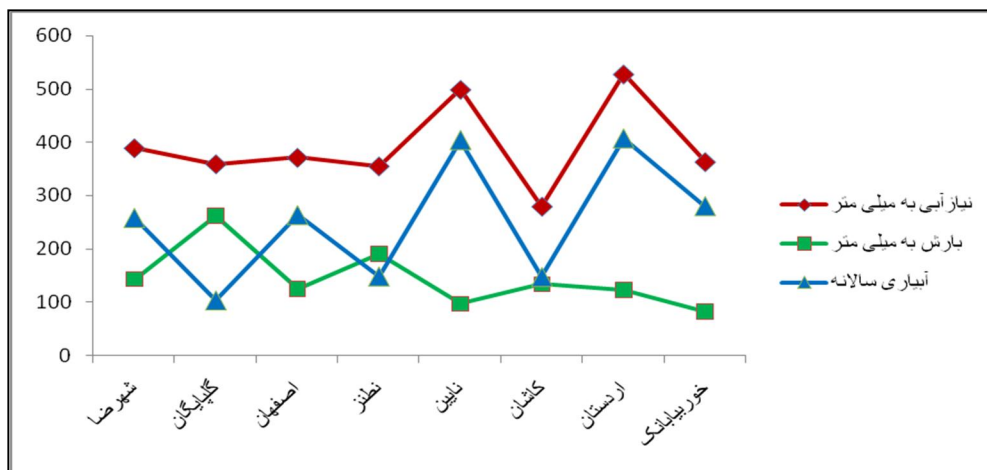
شکل ۷) مقدار تبخیر و تعرق و نیاز آبی مرحله توسعه رشد زعفران در ایستگاه‌های استان اصفهان



شکل ۸) مقدار تبخیر و تعرق و نیاز آبی مرحله میانی رشد زعفران در ایستگاه‌های استان اصفهان



شکل ۹) مقدار تبخیر و تعرق و نیاز آبی مرحله انتهایی رشد زعفران در ایستگاه‌های استان اصفهان



شکل ۱۰) مقدار نیاز آبی، بارش و آبیاری سالانه در فصول رشد زعفران (آبان تا اردیبهشت) در ایستگاه های استان اصفهان

### نتایج پژوهش

زعفران به علت اینکه دوره رشد رویشی آن منطبق بر فصولی از سال است که معمولا ریزش باران و برف دارد، عمده نیاز آبی آن به وسیله آب برف و باران تأمین می شود و مانده نیاز آبی با چهار نوبت در طول دوره های رشد زعفران از مهر تا اردیبهشت ماه مرتفع می شود. طبق محاسبات آماری در استان اصفهان مشخص شد دمای مورد نیاز گل دهی زعفران در مناطق غرب و جنوب غربی تأمین نمی شود؛ در حالی که در شرق و شمال استان از جمله ایستگاه اردستان با کسب ۶۸۲ درجه-روز بیشترین حرارت رشد گیاه به دست می آید. یخبندان پاییزه گل زعفران را از بین می برد. تقویم زراعی زعفران نشان می دهد در کل ایستگاه های قابل کشت، یخبندان پاییزه بعد از دوره گل دهی رخ می دهد. بر اساس محاسبه تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی در هر مرحله از دوره رشد مشخص شد در استان اصفهان در ایستگاه های مناسب کشت زعفران ایستگاه اردستان با ۵۲۸/۱ میلی متر بیشترین نیاز آبی را دارد و ایستگاه کاشان با ۲۷۹ میلی متر کمترین نیاز آبی را داراست. دوره رشد زعفران از اکتبر (مهر) تا می (اردیبهشت) است. میانگین ۱۶ ساله بارش از مهر تا اردیبهشت محاسبه شده است. بیشترین بارش با ۲۵۶ میلی متر در ایستگاه گلپایگان و کمترین بارش با ۸۳ میلی متر در ایستگاه خورویبانک رخ داده است. بنابراین، در ایستگاه اردستان با ۴۰۷ میلی متر بیشترین مقدار آبیاری سالانه و در ایستگاه گلپایگان با ۱۰۳ میلی متر کمترین مقدار آبیاری سالانه زعفران اندازه گیری شد.

### منابع

- ۱- احسانی، علی؛ ارزانی، حسین و فرحپور، مهدی. (۱۳۹۱). برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه و خاک به کمک نرم افزار cropwat.8.0، مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران (ایستگاه رودشور)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ش ۲۸، صص ۱-۱۶.
- ۲- امیر قاسمی، تراب. (۱۳۸۷). زعفران طلای سرخ ایران، تهران: انتشارات نشر آیندگان، چاپ سوم.
- ۳- بایوردی، محمد. (۱۳۷۲). روابط آب و خاک، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم، صص ۵۶۷.
- ۴- بهنیا، محمدرضا. (۱۳۸۰). زراعت زعفران، انتشارات دانشگاه تهران.

- ۵- پورمحمدی، سعید؛ دستورانی، محمد؛ چراغی، علی و مختاری، محمد. (۱۳۸۷). تعیین عوامل اقلیم روی تبخیر و تعرق با استفاده از رگرسیون چند متغیره در حوزه منشا استان یزد، کنفرانس ملی سامان دهی مدیریت آب، دانشگاه کرمان، ۷۵ ص.
- ۶- خزایی، الهام؛ ذاکری نیا، مهدی و دهقانی سانج، حسین. (۱۳۹۲). کاربرد دستگاه های بر خط هواشناسی در مزرعه در محاسبه نیاز آبی به هنگام ذرت و تأثیر آن بر افزایش کارایی مصرف آب در منطقه ساوه، پژوهش های حفاظت آب و خاک، ش ۷۸، صص ۴۸-۶۵.
- ۷- خسروشاهی. محمد، ۱۳۹۲، محاسبه نیاز آبی گونه سمر در چند ناحیه ریشی خلیج عمان ایران، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ش ۸۲، صص ۳۰۰-۳۱۵.
- ۸- زارع ایبانه، حمید؛ نوری، حدیثه؛ لیاقت، عبدالمجید؛ نوری، حمیده و کریمی، ولی الله. (۱۳۹۰). مقایسه روش پنمن مانتیت فائو و تشت تبخیر کلاس A با داده های لایسیمتری در برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج در منطقه آمل، پژوهش های جغرافیای طبیعی، ش ۷۶، صص ۷۱-۸۳.
- ۹- سازمان برنامه و بودجه استان اصفهان. (۱۳۸۸). سالنامه آماری استان اصفهان، فصل اول (سرزمین و آب و هوا).
- ۱۰- سپه نوند. مراد. (۱۳۸۸). مقایسه نیاز آبی؛ بهره وری آب و بهره وری اقتصادی آن در گندم و کلزا در غرب کشور در سالهای پرباران، مجله پژوهش آب ایران، ش ۱۲، صص ۶۳-۶۸.
- ۱۱- سعیدی راد، محمد حسین و مختاریان. علی. (۱۳۸۹). اصول علمی کاربردی کاشت، داشت و برداشت، تهران: انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، چاپ دوم.
- ۱۲- شریفان، حسین؛ قهرمان، بیژن؛ علیزاده، امین و میرلطیفی. مجید. (۱۳۸۴). ارزیابی روش های مختلف تشعشی و رطوبتی جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع و اثرات خشکی هوا بر آن در استان گلستان، مجله علوم خاک و آب، ش ۱۹، صص ۲۸۰-۲۹۰.
- ۱۳- صیادی، حبیب؛ اولادغفاری، ابوالفتح؛ فعالیان، احد، صدرالدینی، علی اشرف. (۱۳۸۸). مقایسه عملکرد شبکه های عصبی RBF و MLP در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مجله دانش آب و خاک، ش ۱۹، صص ۲-۱۲.
- ۱۴- طالبی، علی؛ پورمحمدی، سمانه و رحیمیان، محمد حسین. (۱۳۸۹). بررسی عوامل مؤثر در تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو پنمن مانتیت مطالعه موردی (ایستگاه های یزد، طبس و مرودشت)، پژوهش های جغرافیای طبیعی، ش ۷۳، صص ۹۷-۱۱۰.
- ۱۵- علیزاده، امین. (۱۳۹۰). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ سی و دوم.
- ۱۶- کافی، محمد. (۱۳۸۱). زعفران، فناوری، تولید و فرآوری، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۱۷- گل کار حمزبی یزد، حمیدرضا؛ فریدون کاوه، بیژن و صدقی، حمید. (۱۳۸۶). بررسی روند تغییرات سری زمانی تبخیر- تعرق ماهیانه گیاه مرجع با استفاده از روش پیشنهادی فائو- پنمن- مانتیت، علوم کشاورزی، ش ۱۳، صص ۴۱۷-۴۳۳.
- ۱۸- مبارکی، زهرا. (۱۳۸۴). مکانیابی کشت زعفران در استان قزوین، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: منصور جعفریگلو، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، ص ۱۳.

- ۱۹- محمدی، حسین. (۱۳۸۶). کاربرد GIS در امکان سنجی کشت زیتون در استان اصفهان، زراعت و باغبانی، ش ۷۴.
- ۲۰- میرموسوی، حسین؛ اکبری؛ حمید؛ پناهی، حمید و اکبرزاده، یونس. (۱۳۹۱). واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET<sub>0</sub>) و محاسبه نیاز آبی گیاه (ETC) زیتون در استان کرمانشاه، جغرافیا و پایداری محیط، ش ۳، صص ۴۵-۶۴.
- ۲۱- میرموسوی، حسین و اکبری، حمید. (۱۳۸۹). امکان سنجی اقلیمی کشت زیتون در استان کرمانشاه، مجله چشم انداز جغرافیایی، ش ۱۰، صص ۱۱۱-۱۲۵.
- ۲۲- محمدی، حسین؛ حنفی، علی و سلطانی، محسن. (۱۳۸۹). برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های استان اصفهان، چشم انداز جغرافیایی، ش ۱۲، صص ۱۵۳-۱۶۷.
- ۲۳- محمدی، حسین؛ رنجبر، فیروز و سلطانی، محسن. (۱۳۹۰). ارزیابی پتانسیل‌های اقلیمی کشت زعفران در شهرستان مرودشت، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ش ۴۳، صص ۱۴۳-۱۵۴.
- 24- Rana G. and N. Katerji, 1998, A Measurement Based Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith Actual Evapotranspiration Model for Crops of Different Height and in Contrasting Water Status, Theor. Appl. Climatol. 60, 141±149.
- 25- Allen, R.G., Clemments, A.J., Burt, C.M., Solomom, K. and Ohlloran, T., 2005, Rediction Accuracy for Project Wide Evapotranspiration Using Crop Coefficient and Reference Evapotranspiration, J. Irri., Drain. Eng, 13(1), 24-36.
- 26- Irmak, S., Haman, D.Z., and Jones, J.W., 2002, Valuation of Class Pans Coefficients or Estimating Reference Evapotranspiration in Humid Location, J. of Irri, and rain. Eng., ASCE, 128, 153-159.
- 27- Rosenberg, N.J. and Powers, W., 1970, Potential for Evapotranspiration and Its
- 28- Manipulation in the Plains Region, Proc. Symp. Evapotranspiration Great Plains, Great
- 29- Plains Agric, Council Publ. No. 50, 275-300.