فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹٤، شماره پیاپی ۱۱٦

زهره رجبی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران **Z. Rajabi**
محمدباقر بهیار، عضو هیئت علمی پژوهشکده هواشناسی تهران **M. B. Behyar, PhD**
حسنعلی غیور، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران **H. A. Ghayoor, PhD**
ویکتوریا عزتیان، مرکز ازنسنجی اداره کل هواشناسی اصفهان **V. Ezatian, PhD**
امیر گندمکار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران **A. Gandomkar, PhD**

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

E-mail: rajabizohreh@gmail. com

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 آن 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 calculate.xlsx 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 ایستگاه های 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 ایستگاه ها برای کشت زعفران مناسب نیستند. فصول رشد زعفران از اکتبر(مهر) تا (اردیبهشت) است. در دوره رشد زعفران، در ایستگاه اردستان با۵۲۸/۱ میلی متر، بیشترین نیاز آبی و ایستگاه کاشان با ۲۷۹میلی‌متر، کمترین نیاز آبی اندازه گیری شده است. در ایستگاه اردستان با ۴۰۷ میلی‌متر، بیشترین مقدار آبیاری سالانه و در ایستگاه گلپایگان۱۰۷میلی‌متر کمترین مقدار آبیاری سالانه محاسبه شده است

واژه‌های کلیدی: زعفران، تبخیروتعرق مرجع، ضریب گیاهی، نیاز آبی، آبیاری سالانه

مقدمه

مطالعه و بررسی تبخیروتعرق گیاه مرجع برای ارائه الگوی کشت مناسب و بهینه سازی استفاده از منابع آب موجود در دوره های آتی ضروری است(گل کار حمزیی یزد و همکاران،۱۳۸۶ :۴۲۰). بر اساس استاندارد فائو، تبخیروتعرق 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 دقّت خوب در

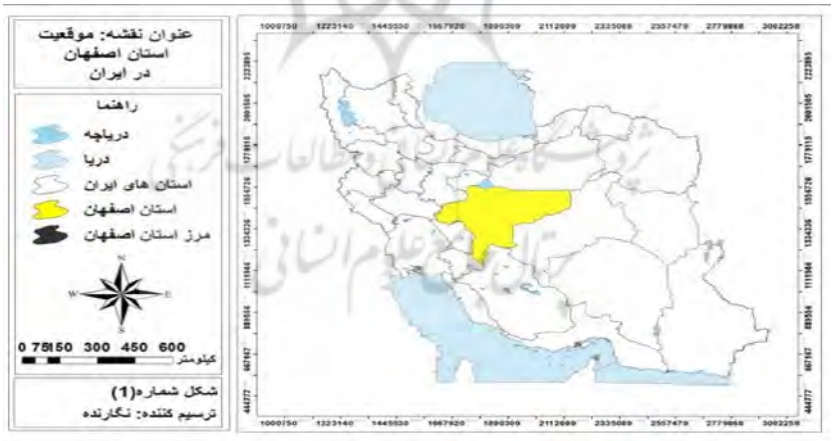
مناطق مرطوب برای برآورد تبخیروتعرّق مرجع مناسب است(ایرماک[1] و همکاران،۲۰۰۲)؛ اما در آب و هواهای خشک برآوردهای تشت تبخیر کمتر از واقعیت است(رزنبرگ و پاورز،[2]۱۹۷۰). تحقیقات مختلف در نقاط مختلف جهان نشان دهنده این نکته است که دقت مقادیر برآورد شده با روش پنمن مانتیث فائو در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسیمتری، دقیق‌تراست(آلن[3]،۲۰۰۵). رانا و کترجی[4](۱۹۹۸) در تحقیقی که در جنوب ایتالیا بر روی حساسیت اجزای مختلف معادله پنمن مانتیث بر روی گیاه مرجع چمن وگیاهان 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 مانتیث 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 -مانتیث فائو و استفاده از داده های آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک ساوه و خصوصیات گیاه (مرتع) محاسبه کردند. نتایج نشان داد میزان تبخیرو تعرق پتانسیل در دوره فصل رویش در منطقه ۶ برابر میانگین تبخیرو تعرق واقعی است و میزان تبخیرو تعرق واقعی۱برابر میانگین بارندگی دوره آماری فصل رویش بوده است. صیادی و همکاران(۱۳۸۸ :۷) میزان تبخیرو تعرق گیاه مرجع در ایستگاه تبریز را بر اساس مقایسه عملکرد شبکه های 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 تبخیروتعرق مرجع را با دقت قابل قبولی تخمین زد. طالبی و همکاران(۱۳۸۹ :۱۰۰) عوامل مؤثر بر تبخیروتعرق مرجع با استفاده از معادله فائو-پنمن مونتیث 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 تبخیروتعرق پتانسیل درایستگاه های 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 تبخیروتعرق در سطح استان نشان داد از غرب به شرق و از جنوب به شمال برمیزان تبخیروتعرق افزوده می‌شود. زارع ابیانه و همکاران(۱۳۹۰ :۷۵) برآورد تبخیروتعرق گیاه برنج در منطقه آمل را بر اساس روش پنمن مانتیث فائو و تشت تبخیر کلاسA با داده های لایسیمتری مقایسه کردند. نتایج مطالعات نشان داد استفاده از روش پنمن مانتیث فائو در محاسبه تبخیروتعرق گیاه مرجع و اعمال ضریب گیاهی تبخیروتعرق برنج در این منطقه۵-۴درصد برآورد بیشتر نسبت به مقادیر اندازه گیری لایسیمتر دارد. میرموسوی وهمکاران(۱۳۹۱ :۴۸) تبخیروتعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گیاه زیتون را در استان کرمانشاه برآورد کردند. نتایج نشان داد بیشترین نیازآبی سالانه با مقدار۹۲۳ میلی‌متر در ایستگاه روانسر به دست آمد. خسروشاهی (۳۰۰:۱۳۹۲) نیاز آبی گونه سمر را در خلیج عمان ایرانی محاسبه کرد. نتایج تحقیق نشان داد که دشت آزادگان با

1-Irmak
2- Rosenberg and Powers
3- Allen
4- Rana and Katerji

۲۵۵میلیمتر در طول هفت ماه سال بیشترین و چابهار با ۱۷۲میلیمتر در طول نه ماه از سال کمترین مقدار را برای آبیاری تکمیلی نیاز دارد. سپه‌وند(۶۳:۱۳۸۸) نیاز آبی گندم و کلزا را درمناطق 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 ۱۰۷۰۴۴/۲۹۱کیلومتر مربع بین ۳۰ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۴درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان که در مرکز ایران واقع شده، از شمال به استان‌های مرکزی، قم و سمنان و از جنوب به استان فارس و کهگیلویه و بویراحمد، از شرق به استان یزد و از غرب به استان‌های لرستان و چهارمحال بختیاری محدود است (سالنامه آماری استان اصفهان). شکل (۱) موقعیت استان اصفهان در ایران و شکل (۲) موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه را نشان می دهد.



داده‌ها 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 Spss.20 به منظور بازسازی آماری داده‌های روزانه آب و هوای از طریق همبستگی و رگرسیون بین ایستگاه فاقد داده شامل ایستگاه اصفهان، چادگان، فریدن، ابیانه، دامنه فریدن، نایین(در محدوده زمانی خاص) و نزدیک ترین ایستگاه دارای داده آماری مجاور به آن شامل ایستگاه‌های کبوترآباد، شرق اصفهان، نظنز، داران و اردستان؛

۳- استفاده از برنامه Calculate.xlsx در نرم‌افزار اکسل به منظور محاسبه نیاز آبی و اندازه‌گیری تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه‌های استان اصفهان از طریق فرمول پنمن مونتیث؛

۴-ترسیم نمودارهای تبخیروتعرق و نیاز آبی گیاه زعفران در مراحل مختلف رشد آن با نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷؛

۵- استفاده از برنامه Calculate.xlsx در نرم‌افزار 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 نرم‌افزار سرفر نسخه ۱۲ به منظور تهیه نقشه‌های آب و هوای از طریق روش میانیابی کریجینگ و تهیه لایه‌های رستری با سیستم مختصات LCC؛

۸- استفاده از نرم افزار گلوبال مپر نسخه ۱۵ به منظور بارگیری(برش) نقشه‌ها ؛

۹- استفاده از نرم‌افزار آرک جی آی اس نسخه ۱۰/۲ به منظور ترسیم نهایی نقشه‌های آب و هوایی گیاه زعفران.

جدول۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع (متر)	محدوده قرارگیری (استان)
			عرضN	طولE		
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	ابیانه	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	نایین	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
۱۸	بروجن	همدید	۵۷	۳۱	۱۸	۵۱	۲۱۹۷	چهارمحال بختیاری
۱۹	کوهرنگ	همدید	۲۶	۳۲	۰۷	۵۰	۲۲۸۵	چهار محال بختیاری
۲۰	شهرکرد	همدید	۱۷	۳۲	۵۱	۵۰	۲۰۴۸,۹	چهار محال بختیاری
۲۱	الیگودرز	همدید	۲۴	۳۳	۴۲	۴۹	۲۰۲۲	لرستان
۲۲	اراک	همدید	۰۶	۳۴	۴۶	۴۹	۱۷۰۸	مرکزی
۲۳	آباده	همدید	۱۱	۳۱	۴۰	۵۲	۲۰۳۰	فارس
۲۴	یاسوج	همدید	۵۰	۳۰	۵۱	۴۱	۱۸۳۱	کهگیلویه و بویر احمد
۲۵	قم	همدید	۴۲	۳۴	۵۱	۵۰	۸۷۷,۴	قم
۲۶	سمنان	همدید	۲۷	۳۲	۵۶	۵۰	۲۰۵۷	سمنان
۲۷	یزد	همدید	۵۴	۳۱	۱۷	۵۴	۱۲۳۷,۲	یزد

مشخصات گیاه‌شناسی زعفران

۱- زعفران با نام علمی *Crocus Sativus* L. و با نام انگلیسی Saffron از خانواده زنبقیان[5] گیاهی است پایا (چند ساله) علفی و بدون ساقه و پیازدار (در اصطلاح عموم بنه نامیده می شود) (امیرقاسمی،۲۳:۱۳۸۷). پیاز یا بنه زعفران تعداد شش تا نه برگ باریک و تعدادی گل تولید می‌کند. 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 مهم‌ترین قسمت آن به حساب می آید، اولین اندامی است که در شروع رشد گیاه زعفران ظاهر می شود (کافی،۱۷:۱۳۸۱).

مراحل رشد زعفران بر اساس اندام هوایی آن به سه مرحله تقسیم شده است: الف) مرحله رشد زایشی:[6] این مرحله ۱۵ تا ۲۵ روز طول می کشد تا گل زعفران ظاهر شود و زمان برداشت محصول نیز به حساب می‌آید. مطلوبترین دما برای تمایز گل‌ها در این مرحله ۹ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد است؛ به‌طوری که در این مرحله دمای شب از ۱۰ درجه سانتی‌گراد و دمای روز از ۲۲ درجه سانتی‌گراد نباید بیشتر شود. همچنین، افت دما به زیر ۵ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش محصول

5- Iridaceae
6-Generative phase

شده، وقوع یخبندان گل را از بین می برد؛ ب) مرحله رویشی: [۷]این مرحله بلافاصله پس ازظهور گل شروع می شود. حداقل دمای قابل تحمل برای گیاه در این دوره حدود ۱۸- تا ۲۲ – درجه سانتی‌گراد بوده و این مرحله به آبیاری نیاز دارد؛ ج) مرحله رکود:[۸] این مرحله منطبق بر فصل گرم سال بوده، زمان خواب پیاز زعفران است. حداکثر دمای قابل تحمل برای گیاه در این دوره ۴۰ درجه سانتی‌گراد است (میرزابیات،۳۵:۱۳۸۴).

۱- زعفران گیاهی است نیمه‌گرمسیری و در نقاطی که دارای زمستان های ملایم و تابستان های گرم و خشک باشد، به خوبی رشد می‌کند.

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

۳- صفر بیولوژیکی یا درجه حرارت پایه[۹] 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 بین۷-۸ درصد، بهترین رشد را دارد.

۷- نیاز آبی زعفران ۳۰۰ میلی متر در سال یا ۳۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار است (سعیدی راد،۲۹:۱۳۸۹).

دمای مورد نیاز گیاه زعفران

دما یکی از عامل‌های مهم در رشد مطلوب گیاهان به حساب می‌آید. در صورت افزایش یا کاهش دما از یک حد معین رشد گیاه متوقف می‌گردد (محمدی،۱۳۹۰ :۱۵۰). گیاه زعفران چون مقاوم به سرماست، دمای آستانه رشد آن (صفر پایه یا صفر فیزیولوژیک) را ۵ درجه سانتی گراد محاسبه کرده‌اند. هر گیاه برای رشد به تعدادی درجه-روز دما[۱۰] نیاز دارد که برای زعفران این مقدار از زمان کاشت تا شروع گل دهی ۴۱۶ درجه- روز است(مبارکی،۱۳:۱۳۸۴). 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 حرارت‌هایی است که بالاتر از صفر پایه گیاه است و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$HU = \sum_{1}^{N} \left[\left(\frac{TM - Tm}{2} \right) - Tt \right] \qquad (۱$$

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،۱۲۵:۱۳۸۶)

7-Vegetative phase
8 -Dormant phase
9 -Base temperature
10)Growth Degree Day

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:

۲) ضریب گیاهی= KC تبخیر و تعرق مرجع = ET0 نیاز آبی گیاه = ET0 × KC[11]

بر اساس استاندارد موجود برای محاسبه نیاز آبی در طرح‌های آب به جای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل مفهوم دیگری به نام تبخیر-تعرق مرجع[12] به کار می رود (علیزاده،۲۵۴،۱۳۹۰).

فرمول (۳)

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

(G) شار حرارتی خاک = $MJm^{-2}day^{-1}$ (Rn) فشار تشعشعات خالص = $MJm^{-2}day^{-1}$

(es) فشار بخار اشباع = Kpa U2 = سرعت باد در ارتفاع دومتری (m/s)

(Δ) شیب منحنی فشار بخار اشباع = $Kpa\ ^oC^{-1}$ (ea) فشار بخار واقعی = Kpa

T = دمای میانگین هوا در ارتفاع ۲ متری (Y) ثابت سایکرومتری = $Kpa\ ^oC^{-1}$

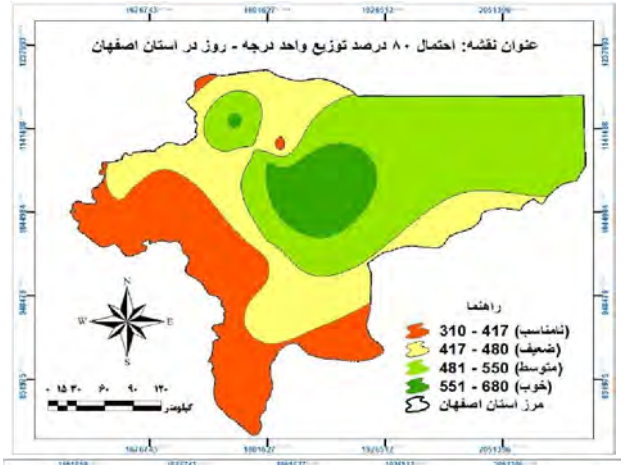
منبع(بهنیا،۱۳۸۰،۱۲)

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 درطول دوره رشد گیاه تغییر می‌کند (بایبوردی،۵۶۷:۱۳۷۲). گل‌دهی مرزعه زعفران در یک دوره ۲۰-۱۵ روزه صورت می‌گیرد (سعیدی راد،۷۱:۱۳۸۹). جدول (۲) ضرایب گیاهی و طول دوره های رشد در گیاه زعفران را نشان می دهد.

جدول۲) ضرایب گیاهی و طول دوره رشد زعفران(مسافری،۱۳۸۱)

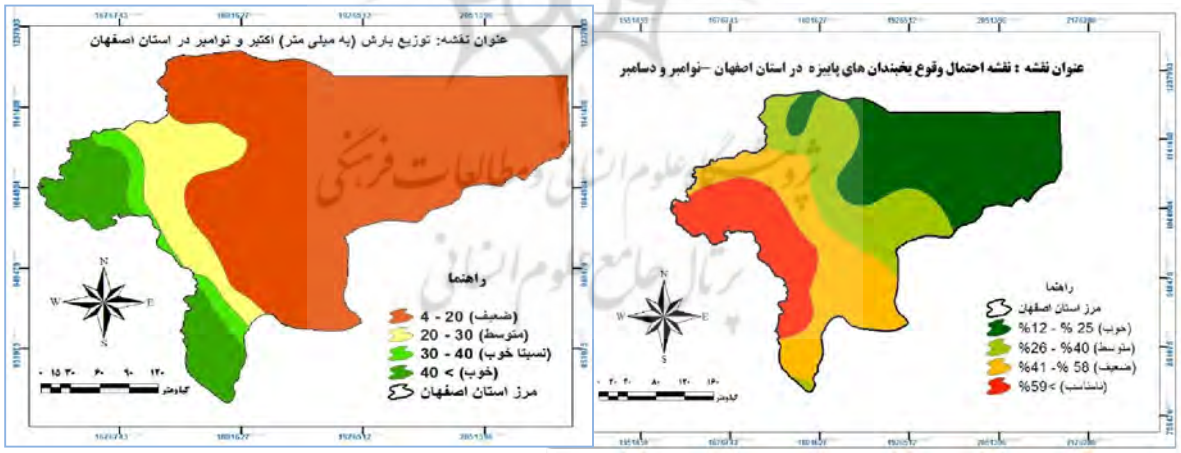
مرحله	طول دوره رشد	KC
اولیه (Initial)	۳۰ روز (از ۱۰ مهر تا ۱۰ آبان)	۰/۴۱
توسعه (Development)	۵۵ روز (از ۱۱ آبان تا ۵ دی)	۰/۶۵
میانی (Mid season)	۱۰۵ روز (از ۶ دی تا ۲۰ فروردین)	۰/۸۵
انتهایی (Lend-season)	۳۰ روز (از ۲۱ فروردین تا ۲۰ اردیبهشت)	۰/۵۵

11 - Crop Coefficient
12- Reference Evapotranspiration



شکل ۴)توزیع واحد درجه- روزدر استان اصفهان

شکل ۵)تاریخ آخرین کشت زعفران درا ستان اصفهان



شکل ۶) احتمال وقوع یخبندان پاییزه در استان اصفهان

شکل ۷) توزیع بارش در استان اصفهان

یافته‌های پژوهش

با توجه به فرمول درجه–روز، نیاز درجه–روز برای گیاه زعفران در ایستگاه های استان در جدول (۳) محاسبه شده است. با توجه به شکل (۳) در ایستگاه‌های شرق و شمالی استان شامل ایستگاه‌های اردستان، کاشان، نطنز، خور و بیابانک و نایین به ترتیب بیشترین درجه–روز کسب شده است. درنتیجه، بهترین مناطق کشت زعفران از نظر دما هستند؛ ولی

درایستگاه‌های 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. درنتیجه، کشت گیاه زعفران در ایستگاه های غربی و جنوب غربی نامناسب است؛ زیرا آب و هوا مناطق غربی استان نیمه‌مرطوب تا مرطوب سرد است. شکل (۴) 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 (۵)نشان می دهد مناطق شرقی کم‌خطرترین پهنه به لحاظ متأثر شدن از یخبندان های پاییزی را به خود اختصاص داده‌اند؛ ولی مناطق غربی استان با احتمال بالای ۵۰درصد وقوع، وضعیت نامناسبی دارد؛ زیرا مهم‌ترین پارامتر کشت زعفران دماست. شکل (۶)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 نمی شود؛ 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 در۲۷سپتامبر(شهریور)در ایستگاه ابیانه و دیرترین تاریخ در۲نوامبر (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 می گیرد. در کل ایستگاه‌های قابل کشت نیز یخبندان پاییزه با تاریخ شروع گل‌دهی همزمان نبوده، بعد از دوره گل‌دهی رخ می‌دهد. ایستگاه اردستان با ۳۰روز کمترین فاصله و ایستگاه ابیانه با ۶۵روز بیشترین فاصله از تاریخ شروع گل دهی تا آغاز یخبندان پاییزه را دارند.

جدول۳) 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	ابیانه	۱۴ سپتامبر	۲۶ سپتامبر	۲۲ اکتبر	۲۶ نوامبر	۴۵۲
۲	شهرضا	۱۵ سپتامبر	۱۱ اکتبر	۱۷ اکتبر	۲۷ نوامبر	۴۵۵
۳	گلپایگان	۲۳ سپتامبر	۲ 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	نایین	۱ اکتبر	۲۲ کتبر	۸ نوامبر	۴ دسامبر	۵۱۱
۷	کاشان	۸ اکتبر	۲ نوامبر	۱۳ نوامبر	۵ دسامبر	۵۸۰
۸	اردستان	۱۰ اکتبر	۲ نوامبر	۱۴ نوامبر	۲ دسامبر	۶۸۲
۹	خوروبیابانک	۱۲ اکتبر	۱ نوامبر	۱۳ نوامبر	۱۶ دسامبر	۵۴۵

جداول (۴)،(۵)،(۶)و(۷) محاسبه نیاز آبی گیاه در مراحل مختلف رشد زعفران را نشان می‌دهند. در مرحله اولیه رشد، ایستگاه های اردستان و کاشان به ترتیب نیازمند بیشترین و کمترین نیاز آبی هستند. در مرحله توسعه ایستگاه های نایین و کاشان به ترتیب نیازمند بیشترین و کمترین نیاز آبی هستند. در مرحله میانی ایستگاه‌های اردستان و کاشان به

ترتیب نیازمند بیشترین و کمترین نیاز آبی هستند. در مرحله انتهایی ایستگاه‌های اردستان و کاشان به ترتیب نیازمند بیشترین و کمترین نیاز آبی هستند. اشکال (۷)،(۸)،(۹)و(۱۰)مقدار تبخیروتعرق و نیاز آبی به میلی متر در مراحل مختلف رشد زعفران را نشان می‌دهند.در جدول(۸) در استان اصفهان در ایستگاه‌های 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 ۱۶ساله ماه های مهر تا اردیبهشت در ایستگاه های قابل کشت زعفران،در جدول(۸) نشان داده شده است. بیشترین بارش با ۲۶۲میلی متر در ایستگاه گلپایگان و کمترین بارش با ۸۲میلی متر درایستگاه خوروبیابانک رخ داده است. درایستگاه اردستان با ۴۰۷ میلی متر بیشترین مقدار آبیاری سالانه و در ایستگاه گلپایگان با ۱۰۳ میلی متر کمترین مقدار آبیاری سالانه زعفران اندازه‌گیری شد. شکل (۱۱) مقدار نیاز آبی، بارش و آبیاری سالانه به میلی متر را در یک سال زراعی زعفران در استان اصفهان نشان می‌دهد.

جدول۴)میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و نیاز آبی زعفران مرحله اولیه در ایستگاه های استان اصفهان

نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	نایین	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

جدول۵)میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و نیاز آبی زعفران مرحله توسعه در ایستگاه های استان اصفهان

نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	نایین	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

جدول۶)میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و نیاز آبی زعفران مرحله میانی در ایستگاه های استان اصفهان

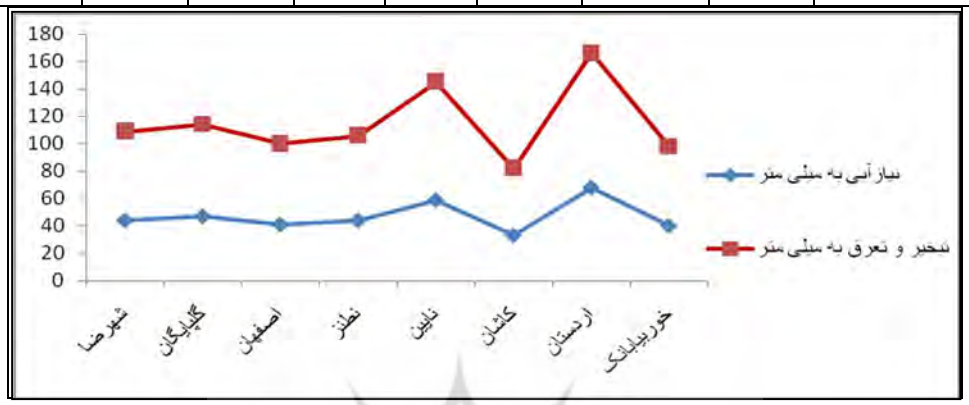
نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	نایین	کاشان	اردستان	خور و بیابانک
تبخیر و تعرق(mm)	۲۴۱	۲۱۲	۲۳۱/۲	۲۱۲	۲۹۸	۱۶۴/۳	۳۱۲	۲۱۸
ضریب گیاهی	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵
نیاز آبی(mm)	۲۰۵	۱۸۰/۱	۱۹۷	۱۸۰/۱	۲۵۳/۲	۱۴۰	۲۶۵	۱۸۵

جدول۷)میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و نیاز آبی زعفران مرحله انتهایی در ایستگاه های استان اصفهان

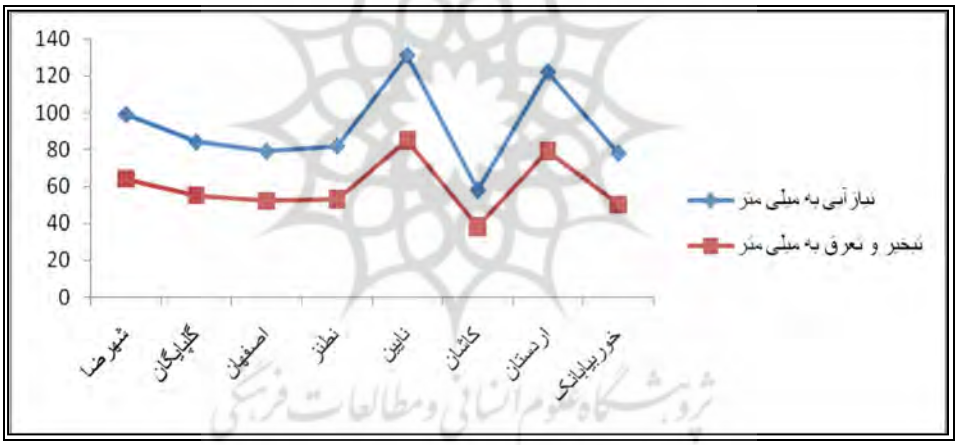
نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	نایین	کاشان	اردستان	خور و بیابانک
تبخیر و تعرق(mm)	۱۵۳	۱۴۱	۱۴۹/۲	۱۴۳	۱۸۴	۱۲۳/۲	۲۱۱	۱۵۹
ضریب گیاهی	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵
نیاز آبی(mm)	۸۴	۷۷/۳	۸۲/۱	۷۹	۱۰۱/۱	۶۸	۱۱۶/۱	۸۷/۴

جدول۸)میزان تبخیر و تعرق، نیاز آبی و بارش و آبیاری سالانه فصول رشدزعفران(اکتبر تا می) در استان اصفهان

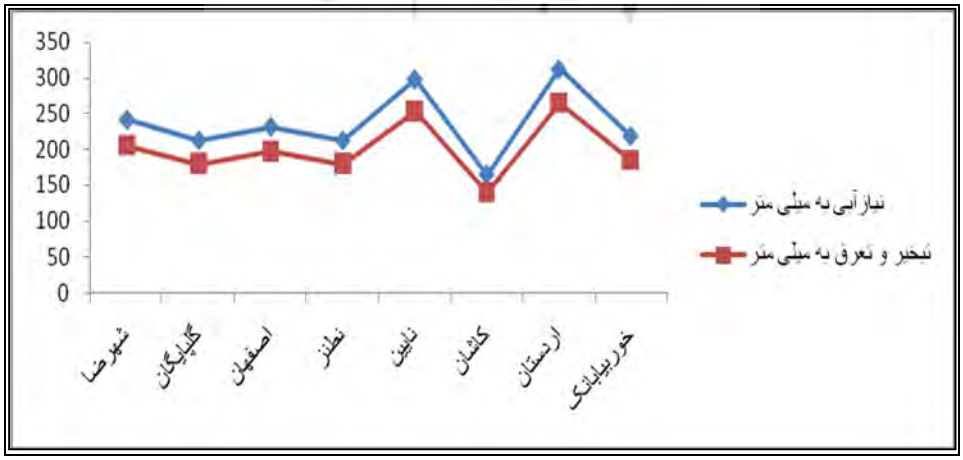
نام ایستگاه	شهرضا	گلپایگان	اصفهان	نطنز	نایین	کاشان	اردستان	خور و بیابانک
تبخیر و تعرق (mm)	۶۰۱/۲	۵۵۱	۵۵۹/۴	۵۴۲/۴	۷۵۷	۴۲۷/۴	۸۱۱	۵۵۲/۱
نیاز آبی (mm)	۳۹۸	۳۵۹	۳۷۱	۳۵۵/۲	۴۹۹	۲۷۹	۵۲۸/۱	۳۶۳
بارش (mm)	۱۴۳	۲۶۲/۲	۱۲۵	۱۹۰/۵	۹۷/۳	۱۳۳/۶	۱۲۳	۸۲/۲
مقدارآبیاری سالانه(mm)	۲۹۰	۱۶۲	۲۶۳	۲۱۲/۲	۴۳۳	۱۷۷	۴۳۷	۳۰۷



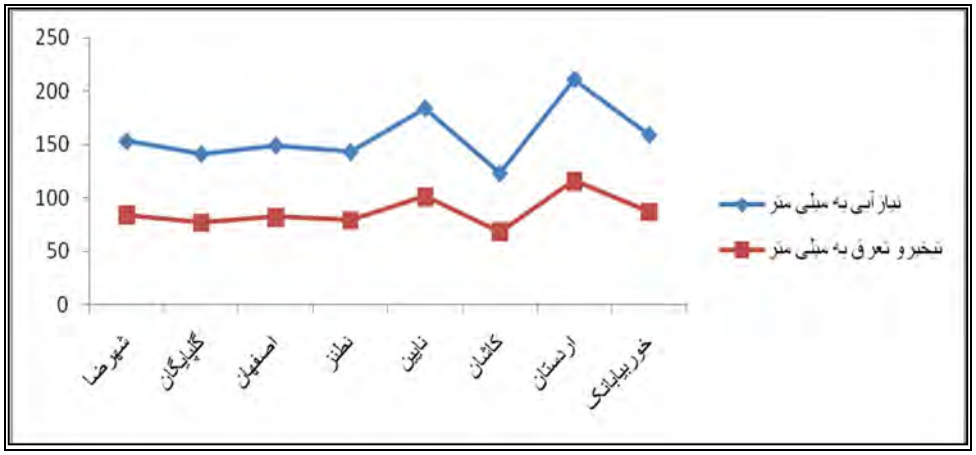
شکل۷)مقدار تبخیروتعرق و نیازآبی مرحله اولیه رشد زعفران در ایستگاه های استان اصفهان



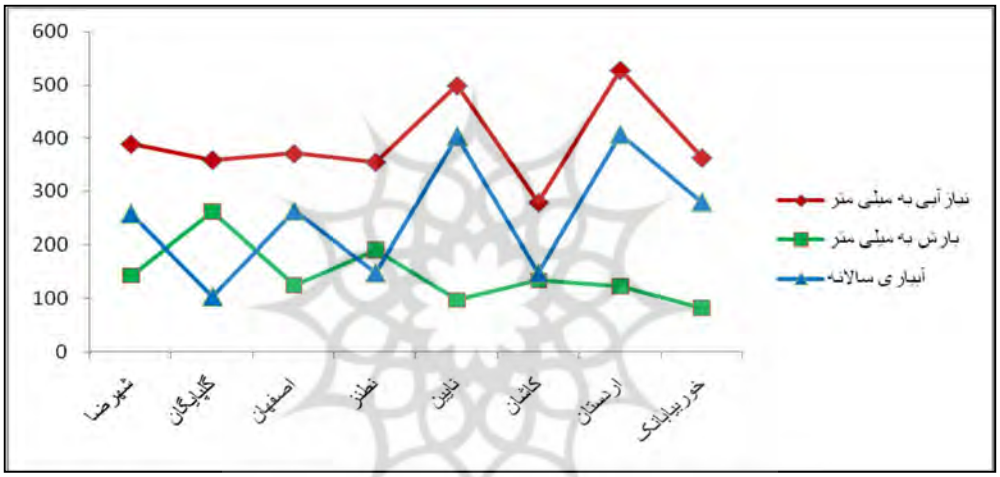
شکل۸) مقدار تبخیر و تعرق و نیازآبی مرحله توسعه رشد زعفران در ایستگاه‌های استان اصفهان



شکل۹)مقدار تبخیروتعرق و نیازآبی مرحله میانی رشد زعفران در ایستگاه های استان اصفهان



شکل(۱۰)مقدار تبخیروتعرق و نیازآبی مرحله انتهایی رشد زعفران درایستگاه های استان اصفهان



شکل۱۱)مقدارنیازآبی، بارش و آبیاری سالانه در فصول رشدزعفران(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 دوره‌های رشد زعفران از مهر تا اردیبهشت ماه مرتفع می‌شود. طبق محاسبات آماری در استان اصفهان مشخص شد دمای مورد نیاز گل‌دهی زعفران در مناطق غرب و جنوب غربی تأمین نمی‌شود؛ در حالی که در شرق و شمال استان از جمله ایستگاه اردستان با کسب۶۸۲درجه-روز بیشترین حرارت رشد گیاه به دست می‌آید. یخبندان پاییزه گل زعفران را از بین می‌برد.تقویم زراعی زعفران نشان می‌دهد در کل ایستگاه‌های قابل کشت،یخبندان پاییزه بعد از دوره گل‌دهی رخ می-دهد. بر اساس محاسبه تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی در هر مرحله از دوره رشد مشخص شد در استان اصفهان در ایستگاه‌های 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 ۱۶ساله بارش از مهر تا اردیبهشت محاسبه شده است. بیشترین بارش با ۲۵۶میلی متر در ایستگاه گلپایگان و کمترین بارش با ۸۳میلی متر

درایستگاه خوروبیابانک رخ داده است. بنابراین، درایستگاه 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 تبخیروتعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه و خاک به کمک نرم افزارcropwat.8.0، مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران(ایستگاه رودشور)، *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ش، صص۱-۱۶.

۲-امیر قاسمی، تراب .(۱۳۸۷). *زعفران طلای سرخ ایران*، تهران: انتشارات نشر آیندگان، چاپ سوم.

۳-بایبوردی، محمد. (۱۳۷۲). *روابط آب و خاک*، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم، ۵۶۷ص.

۴-بهنیا، محمدرضا .(۱۳۸۰). *زراعت زعفران*، انتشارات دانشگاه تهران.

۵- پورمحمدی، سعید؛ دستورانی، محمد؛ چراغی،علی و مختاری، محمد .(۱۳۸۷). تعیین عوامل اقلیم روی تبخیروتعرق 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 سانیج، 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*، ج۲۰، شماره دوم.

۷- خسروشاهی.محمد، ۱۳۹۲، محاسبه نیاز آبی گونه سمر در چند ناحیه رویشی خلیج عمان ایران، *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ج۲۱، ش۲، ص۳۰۰- ۳۱۵.

۸- زارع ابیانه،حمید؛ نوری،حدیثه؛ لیاقت، عبدالمجید؛ نوری، حمیده و کریمی، ولی الله.(۱۳۹۰). مقایسه روش پنمن مانتیث فائو و تشت تبخیر کلاسA با داده‌های لایسیمتری در برآورد تبخیروتعرق گیاه برنج در منطقه آمل، *پژوهش های جغرافیای طبیعی*، ش۷۶، ص۷۱-۸۳.

۹- سازمان برنامه و بودجه استان اصفهان .(۱۳۸۸). *سالنامه آماری استان اصفهان*، فصل اول (سرزمین و آب و هوا).

۱۰- سپه وند.مراد.(۱۳۸۸). مقایسه نیازآبی؛ بهره وری آب و بهره وری اقتصادی آن در گندم وکلزا در غرب کشور در سالهای پرباران، *مجله پژوهش آب ایران*، سال سوم، ش۴، صص۶۳-۶۸ .

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 روش‌های مختلف تشعشعی و رطوبتی جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع و اثرات خشکی هوا بر آن دراستان گلستان، *مجله علوم خاک و آب*،ش۱۹، صص ۲۸۰-۲۹۰.

۱۳- صیادی، حبیب؛ اولادغفاری، ابوالفتح؛ فعالیان، احد، صدرالدینی، علی اشرف .(۱۳۸۸). *مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبیRBF*. وMLP در برآورد تبخیروتعرق گیاه مرجع، *مجله دانش آب و خاک*، ج۳، ش (۱۹)، صص۲-۱۲.

۱۴- طالبی، علی؛پورمحمدی، سمانه و رحیمیان،محمدحسین.(۱۳۸۹). بررسی عوامل مؤثر در تبخیروتعرق مرجع با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو پنمن مانتیث مطالعه موردی(ایستگاه های یزد،طبس و مرودشت)، *پژوهش های جغرافیای طبیعی*،ش ۷۳، صص۹۷-۱۱۰.

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 حمزیی 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-مانتیث، *علوم کشاورزی*، ش۱۳، صص۴۱۷-۴۳۳.

۱۸- مبارکی، زهرا .(۱۳۸۴). *مکانیابی کشت زعفران در استان قزوین*، پایان نامه کارشناسی ارشد،استاد راهنما: منصور جعفربیگلو، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، ص۱۳.

۱۹- محمدی، حسین .(۱۳۸۶). کاربرد GIS در امکان سنجی کشت زیتون در استان اصفهان، *زارعت و باغبانی*،ش ۷۴.

۲۰- میرموسوی، حسین؛ اکبری؛ حمید؛ پناهی، حمید و اکبرزاده، یونس .(۱۳۹۱). واسنجی روش‌های برآورد تبخیروتعرق پتانسیل گیاه مرجع(ET0) و محاسبه نیاز آبی گیاه(ETC) زیتون در استان کرمانشاه، *جغرافیا و پایداری محیط*،ش۳، صص۴۵-۶۴.

۲۱- میرموسوی، حسین و اکبری، حمید .(۱۳۸۹). امکان سنجی اقلیمی کشت زیتون در استان کرمانشاه، *مجله چشم انداز جغرافیایی*، سال چهارم، ش۱۰.

۲۲- محمدی، حسین؛حنفی، علی و سلطانی، محسن .(۱۳۸۹). برآورد میزان تبخیروتعرق پتانسیل در ایستگاه‌های استان اصفهان، *چشم انداز جغرافیایی*، سال پنجم، ش ۱۲، صص۱۵۳-۱۶۷.

۲۳- محمدی،حسین؛ رنجبر، فیروز و سلطانی، محسن.(۱۳۹۰). ارزیابی پتانسیل‌های اقلیمی کشت زعفران در شهرستان مرودشت، *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، سال۲۲، شماره پیاپی۴۳، ش۳، صص۱۴۳-۱۵۴.

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), pp. 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, 3, pp.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, pp. 275-30036.