

مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم روی نیاز آبی زعفران در خراسان جنوبی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

احمد جعفرزاده^{۱*}، عباس خاشعی سیوکی^۲ و علی شهیدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند

*- نویسنده مسئول: E-mail: montazer_ahmad3101@yahoo.com

جعفرزاده، ا.، خاشعی سیوکی، ع.، و شهیدی، ع.، ۱۳۹۴. مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم روی نیاز آبی زعفران در خراسان جنوبی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه پژوهش‌های زعفران. ۳(۲): ۱۷۴-۱۶۳.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۲

چکیده

زعفران به عنوان محصول استراتژیک استان از اهمیت بالایی در توسعه کشاورزی برخوردار است. لذا بررسی اثرات پدیده‌های مختلف بر عملکرد این محصول بسیار حیاتی خواهد بود. از جمله این پدیده‌ها اثرات تغییر اقلیم می‌باشد که به طور مستقیم اثراتی روی پارامترهای اقلیمی خواهد گذاشت. به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم روی نیاز آبی زعفران، از خروجی چهار مدل اقلیمی $ECHAM_{50M}$, $ECHO_G$, $CGCMT_{47}$ و $HADGEM_1$ و تحت سناریوهای A_1B , A_2 , B_1 که متعلق به پایگاه داده CCCMA هستند، استفاده شد. پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۲ و ۲۰۴۰-۲۰۱۴ میلادی به ترتیب به عنوان دوره پایه و آینده از این پایگاه داده استخراج شد. برای محاسبه نیاز آبی زعفران از روش تورنت‌وایت بهره گرفته شد. به منظور تعیین دقت مدل‌های اقلیمی، همبستگی میان آمار مشاهداتی و خروجی مدل‌های اقلیمی انجام شد. نتایج نشان داد که مدل $CGCMT_{47}$ تحت سناریوی A_1B از دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. همچنین تمامی مناطق مستعد استان در کشت زعفران در سال ۲۰۴۰ میلادی با افزایش نیاز آبی مواجه خواهند شد. به طور کلی، میانگین افزایش نیاز آبی در استان ۶۷ میلی‌متر در انتهای فصل کشت در سال ۲۰۴۰ میلادی پیش‌بینی شد. شهر بیرجند با ۹۵ میلی‌متر افزایش نیاز آبی، بیشترین تغییرات را در میان شهرهای استان داشت. همچنین شهرستان قائن که قطب تولید زعفران استان به شمار می‌رود، با افزایش ۴۰ میلی‌متری مواجه خواهد شد. میانگین نیاز آبی زعفران در استان روند افزایشی به خود خواهد گرفت؛ به طوری که از ۴۲۵/۵۲ میلی‌متر به ۴۸۷/۶۱ میلی‌متر در سال خواهد رسید. به طور کلی، تغییر اقلیم اثرات منفی روی نیاز آبی زعفران در استان خواهد داشت که پراکنش این افزایش در مناطق مختلف استان متفاوت است. اتخاذ راهکارهای کاهش اثرات تغییر اقلیم و سازگاری با شرایط اقلیمی می‌تواند برای تخفیف اثرات مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تورنت‌وایت، تبخیر تعرق مرجع، ضریب گیاهی زعفران، CCCMA

مقدمه

در مناطق خشک کشور نظیر استان خراسان جنوبی (با میانگین افت ۴۲۰ میلی‌متری در آبخوان‌ها) که با مشکل کمبود منابع آب همراه است ضرورت توجه به کشت محصولات پایدار بیش از سایر نقاط احساس می‌شود (www.skhrw.com). کشت محصولات پایدار و سازگار با شرایط اقلیمی استان در کنار تولید بالا و با کیفیت به بهره‌وری آب استفاده شده نیز کمک شایانی می‌کند. از طرفی، با بروز پدیده تغییر اقلیم، متغیرهای اقلیمی نظیر بارش و متوسط درجه حرارت با تغییر در شدت و فراوانی همراه خواهند بود.

طبق گزارش‌های موجود درجه حرارت سطح زمین روند افزایشی خواهد داشت که متأسفانه این تغییر موجب اثرات منفی متغیرهای اقلیمی در موقعیت مکانی کشور ما خواهد شد (IPCC, 2013; Hadizadeh et al., 2011). لازم به ذکر است که این متغیرها به طور مستقیم بر عملکرد گیاه استراتژیک استان یعنی زعفران تأثیر خواهند گذاشت. در واقع، مطالعه و بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی نیاز آبی گیاه زعفران به عنوان مهم‌ترین نهاد می‌تواند ما را در اتخاذ سیاست درست مدیریت کشت و کار این محصول ارزشمند در استان راهنمایی کند.

مطالعات نسبتاً زیادی در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی گیاهان زراعی شاخص در داخل و خارج کشور صورت گرفته است. به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم روی نیاز خالص آبیاری و عملکرد گندم دیم (Soleymani et al., 2011) در شهرستان بهشهر مازندران از مدل اقلیمی CGCM₃ از سری مدل‌های AOGCM استفاده کردند. پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی تحت سناریوی انتشار A₂، در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ میلادی، شبیه‌سازی شدند. نتایج نشان داد که بارندگی‌ها در فصل پاییز افزایش یافت، اما در فصل‌های زمستان و بهار کاهش می‌یابد در حالی که درجه حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایشی بین ۱-۲ درجه سانتی‌گراد تا پایان سال ۲۱۰۰ میلادی خواهد داشت. نیاز خالص آبیاری با جابجائی تاریخ کاشت به سمت فصل زمستان افزایش یافته که این افزایش در دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم تشدید خواهد شد. به ازای تاریخ

کاشت مشخص، کمبود عملکرد نسبی محصول در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه تغییر چشم‌گیری نخواهد داشت. لیو و همکاران (Luo et al., 2005) با ارزیابی عملکرد گندم تحت تأثیر تغییر اقلیم در جنوب استرالیا با در نظر گرفتن اثر سه فاکتور بارندگی، درجه حرارت و افزایش غلظت CO₂ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مناطق با بارش متوسط و کم، بارندگی مؤثرترین فاکتور در میزان عملکرد محصول می‌باشد. در مطالعه دیگری (Shrestha, 2014) اثرات تغییر اقلیم را روی نیاز آبی و عملکرد محصول برنج در شبکه آبیاری نگامویک میانمار بررسی کردند. آن‌ها در این مطالعه از دو مدل اقلیمی ECHAM₅ و HadCM₃ تحت سناریوهای A₂, B₂, A_{1B} و برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۲۰ میلادی استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها کاهش حداکثر دما را برای سه سناریو نشان داد. همچنین روند کاهشی نیاز آبی برنج در هر سه سناریو تا افق ۲۰۸۰ میلادی در این منطقه مشاهده شد. در مطالعه‌ای (Riediger et al., 2014) به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم روی نیاز آبی محصولات کشاورزی در مرکز اروپا اقدام به شبیه‌سازی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که حداکثر دما در پایان دوره افزایش نشان خواهد داد. همچنین نتایج آن‌ها گویای این واقعیت بود که میزان فعلی ذخیره آبخوان برای اینک الگوی کشت فعلی حفظ شود کافی نیست. اثرات تغییر اقلیم روی نیاز آبی محصولات شبکه آبیاری باوجیکسیا در چین موضوع مطالعه شد. آن‌ها برای بررسی مکانیزم اثرات تغییر اقلیم از تفکر دینامیک برای ایجاد معادله بین اثرات تغییر اقلیم، نیاز آبی شبکه و تأسیسات‌های سازگاری در آینده استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان از افزایش درجه حرارت دارد. افزایش درجه حرارت به میزان یک درجه سانتی‌گراد موجب افزایش ۱۲۰ میلیون مترمکعب نیاز خالص آبی و یا ۲۰۰ میلیون متر مکعب نیاز ناخالص آبی خواهد شد. تغییر اقلیم اثرات قابل توجهی روی رودخانه‌هایه در چین داشت که وانگ و همکاران (Wang et al., 2014) به بررسی آن پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود به منظور فائق آمدن بر مشکلات آبی و سازگاری با شرایط آینده، سیاست‌های مدیریت بر مصرف و عرضه منابع آب را در کنار یکدیگر پیشنهاد داده‌اند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از آن است که با

معرفی پایگاه داده CCCSN

در این مطالعه از پایگاه داده^۱ CCCMA که در کشور کانادا فعالیت می‌کند استفاده شد. این پایگاه مدلی تحت عنوان CGCM47 را روی پارامترهایی نظیر بارش ماهانه، متوسط درجه حرارت ماهانه، سرعت باد در ارتفاع دو متری و ... گسترش داده است. داده‌های ماهانه و همچنین داده‌های روزانه این پایگاه برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۱ میلادی تهیه شده است. فاصله شبکه‌های مدل‌های اقلیمی ۱۹۲ در ۹۶ متر است (www.ipcc.comwww.ccsn.ec.gc.c).

پایگاه^۲ CCCSN زیرمجموعه‌ای از CCCMA بوده و پارامترهای اقلیمی را برای کلیه مدل‌های خروجی CGCM47 در اختیار کاربران قرار می‌دهد. مدل‌های ECHAM50M, CGCM47 از ECHO_G, HADGEM₁ برای پارامتر بارش ماهانه تحت سناریوهای A₁B, A₂, B₁ استفاده شد. تغییر کاربری اراضی در سناریوی B₁ بالاتر از دو سناریوی دیگر است. استفاده از انرژی و تولید ناخالص داخلی در سناریوهای A₁B, A₂ به مراتب بالاتر از سناریوی B₁ می‌باشد. پارامترهای بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه برای دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۲ میلادی به عنوان دوره پایه و برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۴ میلادی به عنوان دوره آتی برای شهرهای منتخب در استان استخراج شد.

جهت تعیین دقت مدل‌های اقلیمی در برآورد پارامترهای بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه، اقدام به تطبیق آمار دراز مدت ایستگاه‌های منتخب با خروجی مدل‌های اقلیمی براساس معیار R² در سطح استان شد. نزدیک‌ترین ایستگاه به هر کدام از شهرها به عنوان ایستگاه مبنا در نظر گرفته شد. جزئیات بیشتری در این معادله در شکل ۱ نشان داده شده است.

محاسبه میزان تبخیر پتانسیل

بدین منظور از روش روش ترنت‌وایت استفاده شد. دمای میانگین ماهانه به عنوان متغیر ورودی در این معادله از خروجی‌های مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای گوناگون استخراج شد.

بروز پدیده تغییر اقلیم و تأثیرات منفی این پدیده بر منابع آب نیاز آبی محصولات به احتمال زیاد افزایش خواهد داشت. با توجه به اهمیت مطالعه نیاز آبی گیاهان تاکنون مطالعات نسبتاً محدودی در خصوص بررسی اثرات نیاز آبی محصولات مختلف در استان خراسان جنوبی انجام شده است. در این مطالعه نیاز آبی زعفران که به عنوان محصول استراتژیک استان مطرح است، تحت تأثیر خروجی‌های چهار مدل اقلیمی در افق ۲۰۴۰ میلادی مدل‌سازی و پهنه‌بندی شد. میزان افزایش نیاز آبی زعفران تخمین زده و مناطقی که در زمینه کشت این محصول با بحران مواجه خواهند شد، معرفی شد. در پایان به بررسی عوامل افزایش نیاز آبی در مناطق بحرانی پرداخته شد و برای رفع آن‌ها راه‌حل‌هایی ارائه شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی در شرق ایران و در مرز مشترک با افغانستان قرار گرفته است. استان‌های خراسان رضوی، اصفهان، زاهدان، سمنان، یزد و کرمان در جوار این استان قرار گرفته‌اند. استان با مساحتی بیش از ۱۵۰۷۹۷ کیلومترمربع در یک اقلیم خشک با تعداد ۱۱ شهرستان، ۲۲ بخش و ۵۱ دهستان واقع شده است. تراکم و تمرکز مناطق روستایی استان خراسان جنوبی بیشتر در مناطق کوهستانی و مرکز استان واقع شده است. از نظر هیدرولوژیکی و تقسیمات تماب این استان در دو زیرحوضه درجه یک به نام‌های فلات مرکزی و مرزی شرقی کشور و بر اساس زیرحوضه‌های درجه دو در چهار زیر حوضه کویر مرکزی، نمک‌زار خواف، کویرلوت و هامون هیرمند قرار گرفته است. بارندگی سالانه استان، میانگین دمای حداکثر و حداقل به ترتیب ۱۵۲ میلی‌متر، ۷ و ۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (<http://skhmet.ir>).

برای بررسی اثرات تغییر اقلیم در پهنه استان اقدام به انتخاب شهرهایی شد که درگستره استان توزیع شده‌اند. این امر باعث افزایش دقت پهنه‌بندی در استان می‌شود. از میان ۲۹ شهر استان (بر اساس تقسیمات سیاسی سال ۱۳۹۲) ۱۹ شهر انتخاب شد. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب توپوگرافی استان و موقعیت شهرهای منتخب را نشان می‌دهد.

1- Canadian center for climate modeling and analysis

2- Canadian climate change scenarios network

از نتایج مطالعات انجام شده در خصوص تعیین ضریب گیاهی زعفران در استان خراسان استفاده شد.

در جدول ۲ ضریب گیاهی زعفران در طول فصل رشد نشان داده شده است (Alizadeh et al., 1999). با استفاده از ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق مرجع از طریق معادله (۶) مقدار تبخیر- تعرق گیاه زعفران را در طول دوره رشد محاسبه شد.

$$ET_C = ET_O \times K_C \quad (6)$$

بعد از محاسبه تبخیر- تعرق گیاه زعفران، به منظور بررسی نیاز آبی گیاه لازم است تا بارندگی مؤثر به صورت ماهانه محاسبه شود. برای این کار از معادله (۷) استفاده شد:

$$P_{eff} = f(D) \left[\left((1.25 \times (P_r)^{0.824}) - 2.93 \right) \times 10^{(0.000955 \times ET_C)} \right] \quad (7)$$

جدول ۲- ضریب گیاهی زعفران در طول دوره رشد

Table 2- Saffron crop coefficient during growing period

ماه	ضریب گیاهی
Mount	Kc
مهر Oct.	0.75
آبان Nov.	0.75
آذر Dec.	0.75
دی Jan.	0.75
بهمن Feb.	0.6
اسفند Mar.	0.45
فروردین Apr.	0.5
اردیبهشت May	0.65

در این فرمول، P_{eff} : بارندگی مؤثر (میلی‌متر در ماه)، P_r : بارندگی در ماه (میلی‌متر)، ETC: تبخیر-تعرق در ماه (میلی-متر) و $f(D)$: تابعی از عمق تخلیه رطوبت از خاک قبل از آبیاری است. اگر عمق تخلیه رطوبت را به صورت نرمال ۷۵ میلی‌متر در نظر بگیریم، مقدار این تابع برابر ۱ محاسبه خواهد شد.

نیاز خالص آبیاری زعفران از معادله (۸) بدست آمد.

$$NIR = ET_C - P_{eff} \quad (8)$$

در روش تورنت‌وایت تبخیر برای هر یک از ماه‌های سال محاسبه می‌شود. اساس این روش دمای متوسط ماهانه است که برای محاسبه آن به صورت زیر عمل می‌شود:

نمایه حرارتی سالانه (I) از جمع نمایه‌های حرارتی ماهانه در طی سال محاسبه شد.

$$i_m = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.51} \quad (1)$$

در این معادله، i_m : نمایه حرارتی هر ماه و T_m : متوسط دمای هوا در ماه مورد نظر می‌باشد. این کار برای تمام ۱۲ ماه سال انجام می‌گردد و در صورتی که T_m متوسط دما در یک ماه صفر یا منفی باشد i_m برای آن ماه صفر در نظر گرفته می‌شود. نمایه حرارتی سالانه (I) از جمع نمایه‌های حرارتی ماهانه در طی سال بدست آورده شد.

$$I = \sum_{n=1}^{12} i_m \quad (2)$$

با داشتن نمایه حرارتی سالانه (I) ضریب a از معادله (۳) محاسبه شد. مقدار ضریب I و a برای کل سال یک عدد بوده اما نمایه حرارتی ماهانه (نمایه حرارتی ماهانه) و درجه حرارت به صورت ماهانه می‌باشند.

$$a = (6.75 \times 10^{-7}) I^3 - (7.71 \times 10^{-5}) I^2 + (1.792 \times 10^{-2}) I + 0.492 \quad (3)$$

برای هر یک از ماه‌های سال تبخیر از فرمول زیر محاسبه شد.

$$ET_P = 16 \left(\frac{10I_m}{I} \right)^a \quad (4)$$

که در این معادله، ET_P : میزان تبخیر برای یک ماه (mm) بدست آمد.

محاسبه ET_P با استفاده از معادله فوق با این فرض بوده است که هر ماه ۳۰ روز و ۱۲ ساعت روشنایی داشته باشد، حال آنکه تعداد روزهای هر ماه و تعداد ساعت روشنایی در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. بنابراین، لازم است ET_P با اعمال ضریب N_m اصلاح گردد. لذا ET_P اصلاح شده از معادله (۵) بدست آمد (Alizadeh, 2006).

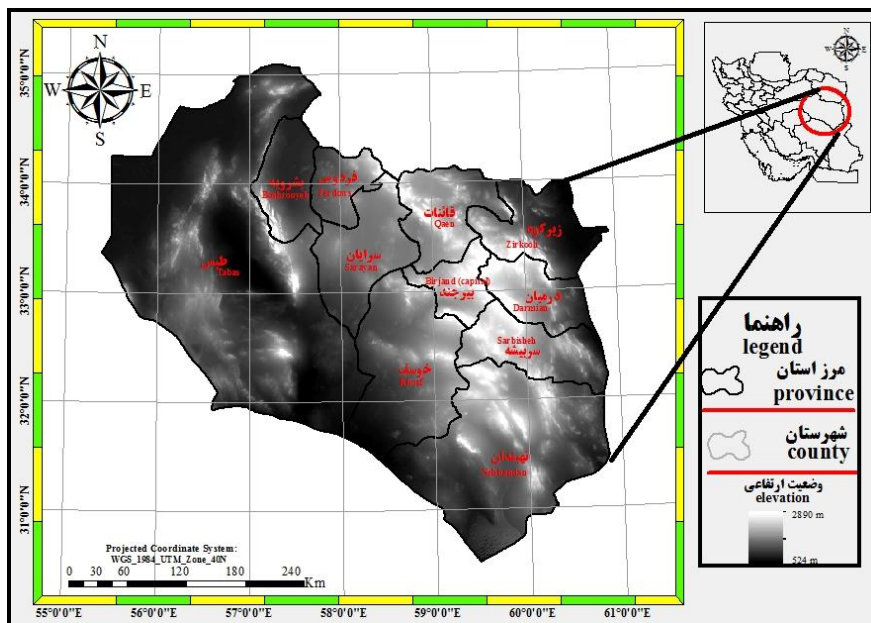
$$(ET_P)_a = 16N_m \left(\frac{10I_m}{I} \right)^a \quad (5)$$

ضریب گیاهی: برای بدست آوردن نیاز آبی زعفران، برآورد ضریب گیاهی در استان از ملزومات اصلی است. بدین منظور،

یکدیگر قرار دارند. به این منظور از نرم‌افزار GS+ برای تعیین بهترین تابع نیم تغییر نما استفاده شد. نرم‌افزار GS+ با تبدیل داده‌ها به داده‌های نرمال، از میان توابع تجربی بر اساس معیارهای ارزیابی R^2 ، RSS بهترین تابع برازش یافته بر داده‌ها انتخاب شد.

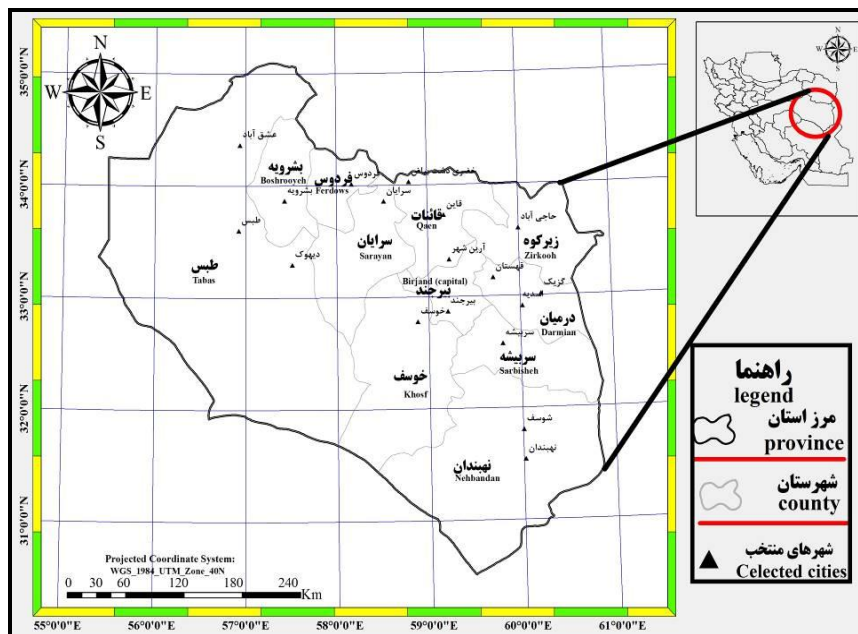
که در این معادله، NIR: نیاز خالص آبیاری (میلی‌متر در ماه) می‌باشد.

محاسبه تابع نیم تغییر نما: جهت انجام پهنه‌بندی انتخاب تابع تجربی استاندارد گام اول است. نیم تغییر نما در واقع مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از



شکل ۱- توپوگرافی استان خراسان جنوبی

Fig. 1- Topography of south khorasan state



شکل ۲- موقعیت شهرهای منتخب در استان خراسان جنوبی

Fig. 2- Location of selected cities on south Khorasan state

پهنه‌بندی الگوی بارش

بعد از اینکه بهترین تابع نیم تغییر نما در محیط GS+ تعیین شد، با استفاده از قابلیت GeoStatistical Analysis در محیط نرم‌افزار GIS اقدام به پهنه‌بندی الگوی بارش در دوره‌های مختلف شد. به منظور انجام درون‌یابی، از روش وزن‌دهی معکوس فاصله استفاده شد. روش وزن‌دهی معکوس فاصله به عنوان یکی از روش‌های درون‌یابی، براساس عکس فاصله وزن‌دهی است که در آن، تخمین بر اساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد صورت می‌گیرد. معادله درون‌یابی دو بعدی به روش فوق به صورت معادله‌های (۹) و (۱۰) است (Webster & Oliver, 2000).

$$W(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i W_i \quad (9)$$

$$\lambda_i = D_i^{-\alpha} / \sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha} \quad (10)$$

که در آن، $W(x, y)$: مقادیر برآورد شده در موقعیت (x, y) ؛ N : تعداد نقاط معلوم مجاور (x, y) ؛ λ_i : وزن اختصاص داده شده به هر یک از مقادیر معلوم W_i : در موقعیت (x_i, y_i) ؛ D_i : فاصله اقلیدسی بین هر یک از نقاط واقع در موقعیت‌های (x, y) و (x_i, y_i) ؛ α : مقدار توان است که متأثر از وزن W_i بر W است. در نهایت، پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی نیاز آبی زعفران در استان در افق ۲۰۲۰-۲۰۱۴ میلادی با در نظر گرفتن مناطق کشاورزی استان، نقشه نهایی به این مناطق تعمیم یافت.

نتایج و بحث

نتایج تعیین دقت مدل‌های اقلیمی در برآورد بارش و درجه حرارت در هر شهر و متناسب با ایستگاه آن شهر در جدول ۳ آمده است. کاملاً مشخص است که مدل‌های اقلیمی نتوانسته‌اند برای همه شهرها به طور مستقل و دقیق پارامترهای اقلیمی را برآورد نمایند. به طوری که در بعضی از شهرها خروجی مدل‌های اقلیمی با آمار دراز مدت همبستگی بالایی ندارد و این یعنی هر چند فرآیند کوچک مقیاس کردن به

دقت داده‌های ناشی از مدل‌های اقلیمی کمک می‌کند، اما در شهرهای مجاور نتایج شبیه‌سازی این مدل‌ها برای پارامترهای اقلیمی شباهت زیادی به هم داشته است، در حالی که در عمل آمار درازمدت ایستگاه‌ها برای این شهرها خلاف این مورد است. تفاوت در خروجی‌های اقلیمی ناشی از دو عامل دقت مدل‌ها در برآورد پارامترها و فاصله‌های متفاوت در شبکه‌بندی این مدل‌ها است. جزئیات وضوح و فاصله نقاط شبکه‌بندی به تفصیل در پایگاه CCCSN آمده است (www.cccsn.ec.gc.c).

طبق نتایج بدست آمده از جدول ۳ مدل CGCM₃T₄₇ تحت سناریوی A₁B بیشترین و مدل ECHO-G کمترین تطبیق را در بین مدل‌های اقلیمی دارند. در میان سناریوهای مدل CGCM₃T₄₇ دقت A₁B به ترتیب بهتر از B₁ و A₂ است. افزایش نیاز آبی در طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۴ میلادی برای شهرهای منتخب استان در جدول ۴ نشان داده شده است.

طبق برآورد مدل CGCM₃T₄₇ تحت سناریوی A₁B بیشترین افزایش نیاز آبی در پایتخت استان و کمترین افزایش در مناطق شمال غربی استان به دست آمده است. شهر قائن نیز به عنوان قطب تولید زعفران استان با افزایش نیاز آبی در سال ۲۰۴۰ میلادی مواجه خواهد شد. میانگین بارندگی مؤثر در این دوره ۱۳۵/۱۸ میلی‌متر است که در طی این مدت روند نزولی خواهد داشت. به طوری که مقدار بارندگی مؤثر در پنج سال آخر کمتر از میانگین است، در حالی که تبخیر پتانسیل روند صعودی دارد. بعد از محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۴ میلادی، اقدام به تعیین بهترین تابع تجربی برای دقیق‌ترین مدل اقلیمی شد. در جدول ۵ خروجی نرم‌افزار GS+ برای این مدل نشان داده شده است.

از آنجا که مستعدترین نقاط کشت زعفران در استان قسمت‌های شمال- شرقی استان قرار دارد، توجه بیشتر این مطالعه روی تغییرات نیاز آبی این مناطق خواهد بود. در شکل‌های ۳ و ۴ نتایج شبیه‌سازی و پهنه‌بندی افزایش نیاز آبی در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۴ میلادی برای سناریوی A₁B مدل CGCM₃T₄₇ ارائه شده است.

جدول ۳- تعیین دقت مدل های اقلیمی در شهرهای منتخب استان (دوره پایه ۲۰۱۴-۱۹۹۲ میلادی)
 Table 3- Accuracy of AOGCM models on chosen cities (base period 1992-2014)

HADGM ₁		ECHO-G		ECHAM ₅₀ M			CGCM ₃ T ₄₇			نام ایستگاه Station
A ₂	A ₁ B	A ₂	B ₁	B ₁	A ₂	A ₁ B	B ₁	A ₂	A ₁ B	
0.44	0.63	0.48	0.46	0.65	0.49	0.47	0.67	0.51	0.49	فردوس Ferdows
0.81	0.87	0.82	0.84	0.90	0.85	0.87	0.93	0.88	0.90	بشرویه Boshrooyeh
0.58	0.55	0.61	0.60	0.57	0.59	0.57	0.59	0.61	0.59	سرایان Sarayan
0.66	0.56	0.52	0.68	0.58	0.54	0.71	0.60	0.56	0.73	قائن Qaen
0.59	0.53	0.64	0.62	0.55	0.66	0.64	0.57	0.69	0.66	سرایان Sarayan
0.93	0.90	0.87	0.89	0.92	0.91	0.95	0.94	0.92	0.98	بیرجند سینوپتیک Birjand
0.69	0.50	0.58	0.71	0.52	0.60	0.73	0.54	0.62	0.76	سربیشه Sarbisheh-
0.91	0.87	0.57	0.45	0.90	0.84	0.90	0.93	0.87	0.93	نهبندان Nehbandan
0.69	0.71	0.62	0.72	0.73	0.64	0.74	0.76	0.66	0.77	اسدییه Asadieh
0.68	0.54	0.74	0.71	0.56	0.76	0.73	0.71	0.79	0.92	بیرجند Birjand
0.83	0.81	0.84	0.86	0.84	0.87	0.89	0.87	0.90	0.92	حاجی آباد Hajjiabad
0.74	0.67	0.49	0.40	0.44	0.50	0.42	0.46	0.52	0.43	نهبندان Nehbandan
0.60	0.72	0.56	0.63	0.74	0.58	0.65	0.77	0.60	0.67	سده Sedeh
0.53	0.50	0.47	0.55	0.52	0.48	0.57	0.54	0.50	0.59	منصور آباد Mansoorabad
0.50	0.73	0.40	0.52	0.75	0.42	0.54	0.78	0.43	0.56	اسدییه Asadieh
0.73	0.77	0.87	0.89	0.87	0.90	0.88	0.90	0.93	0.91	دیپوک Deyhook
0.76	0.69	0.79	0.71	0.84	0.70	0.73	0.87	0.72	0.76	طیس Tabas
0.55	0.59	0.50	0.57	0.61	0.52	0.59	0.63	0.54	0.61	طیس Tabas

جدول ۴- تغییرات نیاز آبی زعفران در استان خراسان جنوبی طی سال های ۲۰۴۰-۲۰۱۴ میلادی (میلی متر)
 Table 4- Saffron water requirement variations on in South Khorasan province during 2014-2040 (mm)

HADGM ₁		ECHO-G		ECHAM ₅₀ M			CGCM ₃ T ₄₇			نام شهر Name of city
A ₂	A ₁ B	A ₂	B ₁	B ₁	A ₂	A ₁ B	B ₁	A ₂	A ₁ B	
-2.48	121.75	89.25	64.66	27.69	56.15	34.26	2.27	71.39	39.89	فردوس Ferdows
4.78	133.94	96.24	58.08	27.69	56.15	34.26	8.44	78.17	32.26	بشرویه Boshrooyeh
-2.48	121.75	89.25	64.66	27.69	56.15	34.26	2.27	71.39	39.89	خضری Khezri

HADGM ₁		ECHO-G		ECHAM ₅₀ M			CGCM ₃ T ₄₇			نام شهر
A ₂	A ₁ B	A ₂	B ₁	B ₁	A ₂	A ₁ B	B ₁	A ₂	A ₁ B	Name of city
-2.48	121.75	89.25	64.66	21.03	41.59	18.49	2.27	71.39	39.89	قاین Qaen
-2.48	121.75	89.25	64.66	27.69	56.15	34.26	2.27	71.39	39.89	سرایان Sarayan
-3.86	115.51	71.44	62.57	111.04	82.49	60.40	8.21	47.61	95.52	بیرجند Birjand
-3.86	115.51	71.44	62.57	111.04	82.49	60.40	8.21	47.61	95.52	سربیشه Sarbisheh
-7.42	87.75	71.44	62.57	158.74	102.70	86.79	3.37	95.52	53.42	نهبندان Nehbandan
-3.86	115.51	71.44	62.57	111.04	82.49	60.40	8.21	47.61	95.52	اسدیه Asadieh
-3.86	115.51	71.44	62.57	89.14	72.91	49.47	8.21	47.61	95.52	خوسف Khosf
-2.48	121.75	89.25	64.66	21.03	41.59	18.49	2.27	71.39	39.89	حاجی آباد Hajaiabad
-7.42	87.75	71.44	62.57	111.04	82.49	60.40	8.21	47.61	95.52	شوسف Sgosf
-3.86	115.51	71.44	62.57	111.04	82.49	60.40	8.21	47.61	95.52	آرین شهر Arianshahr
-3.86	115.51	71.44	62.57	111.04	82.49	60.40	8.21	47.61	95.52	قهبستان Qgohestan
-3.86	115.51	71.44	62.57	111.04	82.49	60.40	8.21	47.61	95.52	گزیک Gazik
4.78	133.94	83.81	59.73	89.14	72.91	49.47	-2.76	80.53	36.71	دیپوک Deyhook
4.78	133.94	96.24	58.08	61.75	72.22	41.44	8.44	78.17	32.26	طیس Tabas
20.66	110.95	96.24	58.08	61.75	72.22	41.44	8.44	78.17	32.26	عشق آباد Eshgabad

جدول ۶- پارامترهای آماری لایه‌های پهنه‌بندی

Table 6- Statistical terms of zoning layers

نام لایه‌ها		متغیر (میلی‌متر)
Layer name		Parameter (mm)
2040	2014	
487.61	425.52	میانگین Mean
34	14.94	انحراف معیار S.T.D
534.97	459.8	حداکثر Max
416.424	379.7	حداقل Min

به استناد جزئیات بدست آمده برای شهرهای شاخص استان و وضعیت انحراف معیار نیاز آبی زعفران می‌توان دریافت که نرخ تغییرات مکانی در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۴۰ میلادی زیاد بوده

جدول ۵- تعیین توابع تجربی خروجی مدل‌های اقلیمی

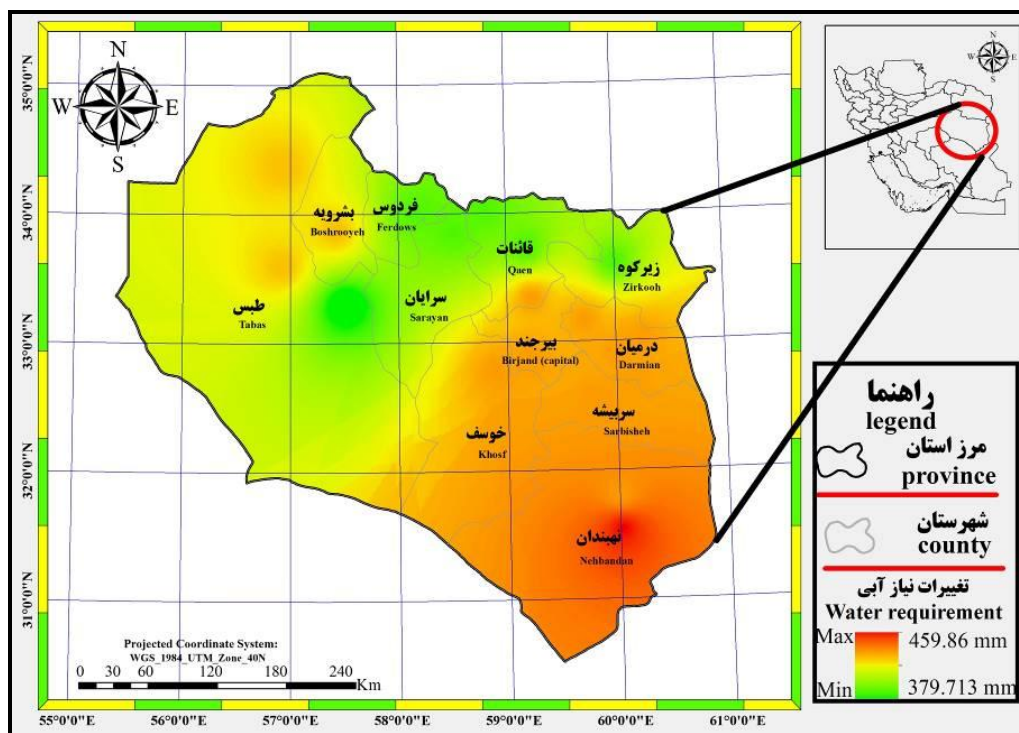
Table 5- Details of tentative functions for best AOGCM model

RSS*	R ²	توابع تجربی Imperials	سناریو Scenario	AOGCM
4	0.55	(نمایی) Exponential		
38	0.67	(کروی) Spherical		
2	0.68	(گوسین) Gaussian	A ₁ B	CGCM ₃ T ₄₇
34	0.56	(خطی) Linear		

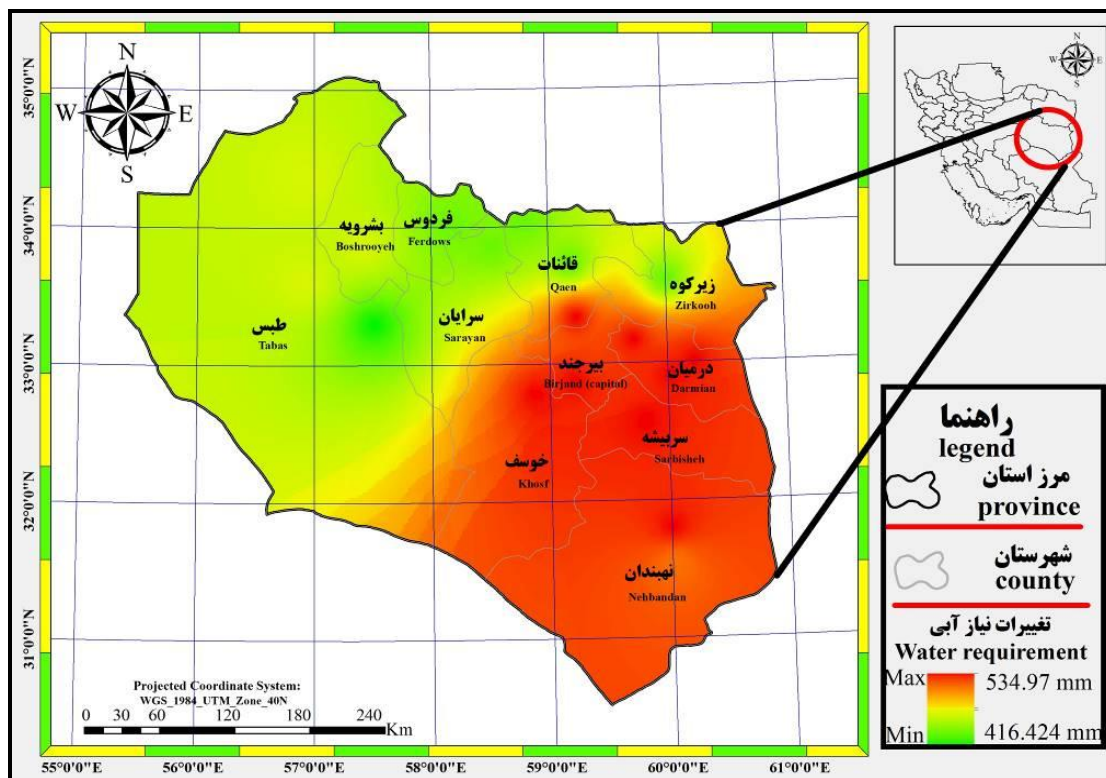
*based on 10⁻⁵ (بر حسب ۱۰^{-۵})

نیاز آبی در شهرهای استان نیز همسو با نتایج (Wang et al., 2014) می‌باشد. آن‌ها در مطالعه خود به افزایش نیاز آبی در شبکه آبیاری رودخانه هایپه اشاره کردند. شهرستان قائن که مستعدترین شرایط کشت محصول با ارزش زعفران در استان را دارا می‌باشد، در انتهای فصل کشت در سال ۲۰۴۰ میلادی تقریباً با افزایش ۴۰ میلی‌متری مواجه خواهد شد. تغییرات در نیاز آبی زعفران در شهرهایی نظیر خضری دشت بیاض، حاجی‌آباد و سرایان همانند شهر قائن می‌باشد. این یعنی با در نظر گرفتن فرآیند کوچک مقیاس خروجی مدل‌های و دقت بالای مدل CGCM3T47 در قبال سایر مدل‌ها، اما باز هم نتایج شبیه‌سازی برای شهرهای مجاور نزدیک به هم بوده است. این در حالی‌که انتظار می‌رود که تغییرات نیاز آبی در این شهرها متفاوت از یکدیگر باشد.

است. به عبارت دیگر، به متوسط نیاز آبی در شهرهای مختلف استان تفاوت چشم‌گیری با یکدیگر دارند. این تفاوت به وضوح در مقادیر حداکثر و حداقل بارندگی در این سال‌ها کاملاً مشهود است. لازم به ذکر است نرخ تغییرات مکانی این پارامتر در انتهای بازه مورد مطالعه بیشتر می‌شود که نشان از پراکنش غیریکنواخت نیاز آبی زعفران در شهرهای استان نسبت به دوره‌های قبلی است. که تفاوت مقادیر حدی در این دوره مبین این حقیقت است. در مطالعه سلیمانی و همکاران (Soleymani et al., 2011) که به بررسی نیاز خالص آبیاری گندم دیدم تحت تأثیر تغییر اقلیم پرداختند نیز نتایج مشابهی بدست آمد. در مطالعه مذکور نیاز خالص آبیاری به شدت تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفت. روند تغییرات نیاز آبی زعفران در استان افزایش ۶۷ میلی‌متری را در انتهای فصل کشت در سال ۲۰۴۰ میلادی نشان می‌دهد. نتیجه افزایش



شکل ۳- پهنه‌بندی نیاز آبی زعفران در استان خراسان جنوبی در سال ۲۰۱۴ میلادی
 Fig. 3- Zoning water requirement of saffron in South Khorasan during 2014



شکل ۴- پهنه‌بندی نیازآبی زعفران در استان خراسان جنوبی در سال ۲۰۴۰ میلادی
 Fig. 4- Zoning water requirement of saffron in South Khorasan during 2040

نتیجه‌گیری

بعد از مقایسه خروجی مدل‌های اقلیمی با آمار ۲۲ ساله ایستگاه‌های هواشناسی در مجاورت شهرهای منتخب، دقت این مدل‌ها مشخص شد که بیشترین تطبیق را در میان کل مدل‌ها، مدل CGCM₃T₄₇ تحت سناریوی A₁B₂₀₄₇ دارا می‌باشد. نیاز آبی زعفران در استان افزایش ۶۷ میلی‌متری را در سال ۲۰۴۰ میلادی نشان می‌دهد. شهرستان قائن تقریباً با افزایش ۴۰ میلی‌متری مواجه می‌شود. بیشترین تغییرات در مرکز استان و در شهر بیرجند به دست آمد با در نظر گرفتن این موضوع که این شهر مرکز استان بوده و حجم فعالیت‌های صنعتی بالاتر از سایر نقاط در استان می‌باشد، این نتیجه دور از انتظار نیست. نیاز آبی زعفران در شهر بیرجند در انتهای فصل کشت در

منابع

Alizadeh, A., Mahdavi, M., Inanloo, M., Bazari, M., 1999. Evapo-transpiration and crop coefficient saffron. *Geog. Res.* 54, 29-42. [In Persian with English Summary]

Alizadeh, A., 2006. Principles of Applied Hydrology. Ferdowsi University of Mashhad Publication. 237-148 p. [In Persian].

- Alizadeh, A., 2011. Irrigation system design. Ferdowsi University of Mashhad Publication. 251-253 p. [In Persian].
- Hadizadeh, M., Shahidi, A., Akbarpoor, A., Faaneh, M.R., 2011. Analysis of uncertainty in Estimating rainfall impact of climate change. (Case study: Synoptic station of birjand). In: 4th Conferences of Water Resource Management. Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). (In Persian)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change. 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Edited by Stocker, T.F., Qin, D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., 2013. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1535 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor M., Miller, H.L. (Eds.): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 996 pp.
- Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., Bryan, B., 2005. Potential impact of climate change on wheat yield in South Australia. *J. Agric. Forest Meteorol.* 132, 273–285.
- Riediger, J., Breckling, B., Nuske, R., Schröder, W., 2014. Will climate change increase irrigation requirements in agriculture of Central Europe? A simulation study for Northern Germany *Environmental Sciences Europe*, 26, 18.
- Soleymani, N., Parsinejad, M., Araghinejad, S., Bavani, M., 2011. A study on climate change effect on net irrigation requirement and yield for rainfed wheat. *J. Water Soil.* 25(2), 389-397. [In Persian with English Summary].
- Shrestha, S., 2014. Climate Change Impacts and Adaptation in Water Resources and Water Use Sectors, Springer Water, Case Studies from Southeast Asia. Springer International Publishing. 9-22 p.
- South Khorasan Regional Water Company (SKHRW), Landscape Water Resources 2013-2014, www.skhrw.com
- South Khorasan Meteorological Organization (skhmet), www.skhmet.com
- Wang, X., Zhang, J., Mahtab, A., Shahid, S., He, R., Xia, X., Jiang, Z., 2014. Impact of climate change on regional irrigation water demand in Baojixia irrigation district of China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1-15.
- Wang, X., Zhang, J., Shahid, S., Guan, E., Wu, Y., Gao, J., He, R., 2014. Adaptation to climate change impacts on water demand. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1-19.
- Webster, R., Oliver, M.A., 2000. *Geostatistics for environmental scientists*, Wiley Press, 271 pp.
<http://www.ccsn.ec.gc.ca/>

Modeling of climate change effects on saffron water requirement in south Khorasan province by GIS

Ahmad Jafarzadeh^{1*}, Abbas Khashei-Siuki² and Ali Shahidi³

1- MSc, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand

3- Associated Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand

*- Corresponding author E-mail: montazer_ahmad3101@yahoo.com

Jafarzadeh, A., Khashei-Siuki, A., and Shahidi, A., 2015. Modeling of climate change effects on saffron water requirement in south Khorasan province by GIS. *Journal of Saffron Research*. 3(2): 163-174.

Submitted: 20-10-2014

Accepted: 03-03-2015

Abstract

In order to study the effects of climate change on saffron water requirement by using four climate projection models such as atmosphere-ocean coupled general circulation model (AOGCM), an experiment was conducted. Precipitation and temperature variables were developed by applying monthly climate model output as within the CCCSN. We spot 1992-2014 and 2014-2040 as base and future period, respectively. For CCCSN, data from five global climate models (GCMs) from the CGCM₃T₄₇ archive were selected that cover three 'Representative Concentration Pathways' (RCPs) scenarios. Potential evapotranspiration is estimated by thornthwaite method. The accuracy of models at base period was determined by evaluation criteria, such as the RMSE, R². Results showed that accuracy of CGCM₃T₄₇ model on A₁B scenario was higher than other AOGCM models which used on base term. Also, it illustrated that water requirement will rise in all capable regions of state on 2040. In universal, average of addition of water requirement is 67 mm in through state. In capital of state, Birjand will have maximum variations by 95 mm ascension for the year 2040. Also, pole of production saffron in state, qaen will have 40 mm ascension in saffron water requirement. Mean water requirement of saffron will be incremental process. Meanwhile the index of 425.52 mm for the year of 2014 to 487.61 mm for the year of 2040 will arrive.

Keywords: Thornthwaite, Potential evaporation, Saffron crop coefficient, CCCMA