



زعفران و تغییر اقلیم؛ نگاهی به تغییرات نیاز آبی آن با استفاده از روش الگوریتم‌های هوشمند

یاسین زمانی^۱، سید آرمان هاشمی منفرد^{۲*}، مهدی اژدری مقدم^۳، محسن حمیدیان پور^۴

۱- دانشجوی دکتری، گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲- دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۳- استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۴- دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

*نویسنده مسئول: [Email: hashemi@eng.usb.ac.ir](mailto:hashemi@eng.usb.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴

چکیده

این مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاه زعفران را در ۱۳ منطقه‌ی خراسان جنوبی و خراسان رضوی برای سه دوره‌ی زمانی ۲۰۳۰-۲۰۵۰، ۲۰۷۵-۲۰۸۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ با استفاده از الگوریتم‌های ترکیبی ANN-NSGA-II و ANN-ICA بررسی می‌کند. این تحقیق برای اولین بار به محاسبه نیاز آبی زعفران براساس تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های CMIP6 و سناریوهای SSP245 و SSP585 پرداخته است. علاوه بر آن برای اولین بار به محاسبه پارامترهای اصلی مدل‌های CMIP6 برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی پرداخته است. برای ریزگردانی و درون‌یابی فضایی داده‌های CMIP6 به ترتیب از روش ریزگردانی آماری و تکنیک وزن دهی فاصله معکوس استفاده شد. از مدل ANN-NSGA-II برای انتخاب پارامترهای مناسب و از مدل ANN-ICA برای پیش‌بینی آینده تغییرات اقلیمی و در نهایت از مدل کراپ وات برای محاسبه نیاز آبی زعفران استفاده شد. نتایج انتخاب پارامترها نشان داد، پارامترهای Hfss و Hfls در ۹۰ درصد موارد برای پیش‌بینی آینده انتخاب شدند. میانگین درصد کاهش بارش و افزایش دمای بیشینه و کمینه مدل‌های GFDL-CM4، MIROC6 و NorESM2-LM در سناریو SSP245 به ترتیب برابر با (۸/۶، -۱، ۱۰)، (۱۰، ۵/۷، ۸/۷) و (۶/۶، ۰/۶، ۹/۱) و در سناریو SSP585 به ترتیب برابر با (۵/۷، ۵/۶، ۱۳)، (۱۲، ۲/۴، ۱۱/۶) و (۸/۲، ۴/۷، ۱۷/۳) محاسبه شد. نیاز آبی در ۹۰ درصد ایستگاه‌ها، GCMS و سناریوها نسبت به دوره‌ی پایه افزایش یافت. بیشترین افزایش نیاز آبی در گلمکان به میزان ۸۷/۱ میلی‌متر برای مدل MIROC6 و دوره‌ی زمانی ۲۰۵۵-۲۰۷۵ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی زعفران، سناریو، ریزگردانی، CMIP6.

زعفران کاری از جنبه‌های بهره‌وری بالای آب، اشتغال‌زایی و درآمدزایی روستاییان و همچنین توسعه صادرات غیرنفتی قابل اهمیت است (Maleki et al., 2019). در خراسان جنوبی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و خروجی چهار مدل اقلیمی CGCMT47، ECHAM50M، ECHO_G، HADGEM1 تحت سناریوهای A1B، A2، B1، برای بررسی اثرات تغییر اقلیم روی نیاز آبی زعفران استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند، تغییر اقلیم اثرات منفی روی نیاز آبی زعفران خواهد داشت (Jafarzadeh et al., 2015). اثرات تغییر اقلیم با مدل گردش عمومی HadCM3 و تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 بر روی نیشکر در سوازیلند بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد، نیاز آبیاری نیشکر ۲۰ تا ۲۲ درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که با تغییر اقلیم، حداکثر ظرفیت فعلی طرح‌های آبیاری موجود، نمی‌تواند پاسخگوی افزایش تقاضای آبیاری پیش‌بینی‌شده در تقریباً ۵۰٪ سال‌ها باشد (Knox et al., 2010). در منطقه پورتوریکو اثر تغییر اقلیم تحت سناریوهای A1، B1 و A1Fi بر روی بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل مرجع، کمبود بارش و کاهش عملکرد نسبی محصولات کشاورزی ارزیابی شد. نتایج نشان داد، فصل‌های بارانی مرطوب‌تر و فصل‌های خشک، خشک‌تر خواهد شد. میانگین ۲۰ ساله باران ماه سپتامبر بین ۱۲۱ تا ۳۲۱ میلی‌متر افزایش می‌یابد و برعکس در ماه فوریه کمبود بارش به میزان ۲۷- تا ۷۷- تغییر خواهد بود. میانگین ۲۰ ساله کاهش عملکرد نسبی محصولات در سپتامبر بین ۶ تا ۱۲ درصد کاهش یافت اما به مقدار ۵۱ تا ۶۴ درصد در ماه فوریه افزایش یافت (Harmsen et al., 2009). در استان آذربایجان شرقی جایگزینی کشت زعفران با محصولاتی که نیاز آبی بالا دارند از قبیل پیاز، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی بررسی شد که در نتیجه کشت زعفران باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و همچنین به دلیل اینکه دوره رشد این محصول در فصل پائیز است و با زمان آبیاری سایر محصولات منطبق نیست، از فشار بر منابع آب در زمان اوج مصرف آب می‌کاهد. مطالعات بررسی اثر تغییر اقلیم بر اساس مدل‌های گزارش چهارم و پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم انجام شده‌اند (Koutroulis et al., 2016; Woldemeskel et al.,)

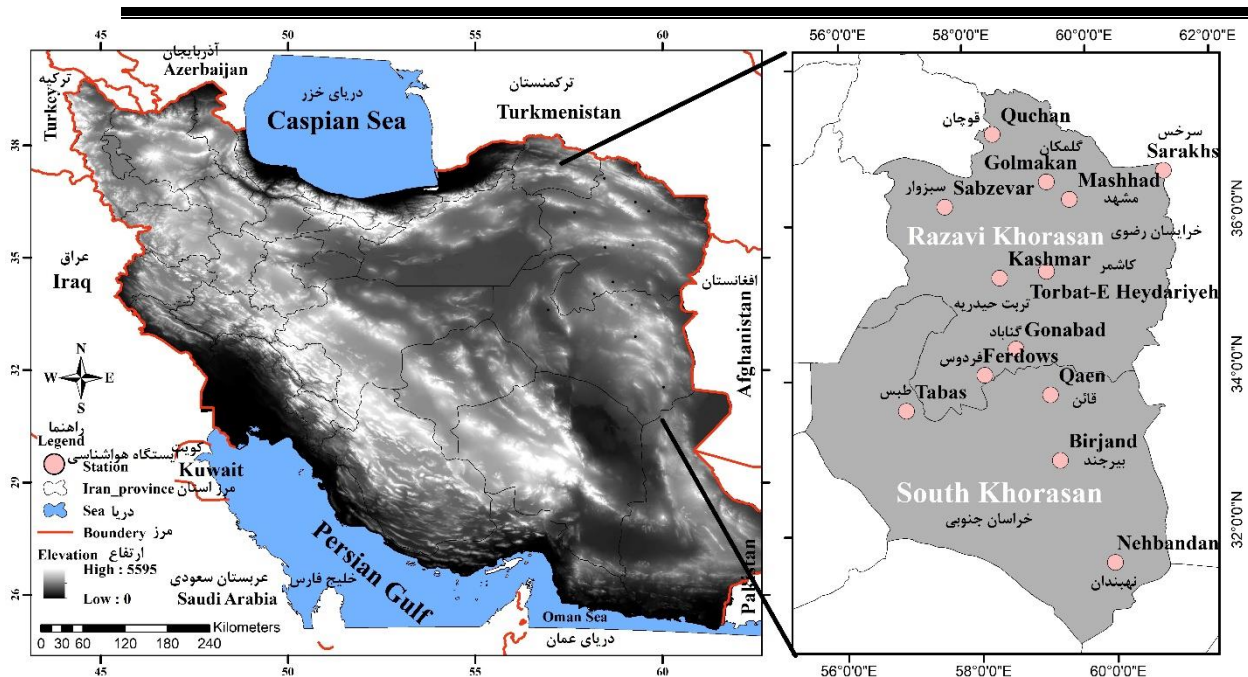
درک تغییرات آینده نیاز آبی گیاهان با توجه به تغییر اقلیم برای مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کشاورزی ضروری است. کمبود آب به تدریج در حال تبدیل شدن به یک چالش جهانی است و بسیاری از نقاط جهان با کمبود آب مواجه هستند، که دلیل آن افزایش جمعیت و تغییر اقلیم است (Jahanbani & El-Shafie, 2011). فعالیت‌های انسانی از زمان صنعتی شدن و افزایش انتشار کربن دی‌اکسید باعث وقوع پدیده‌ی تغییر اقلیم شد (IPCC, 2013). اگرچه تغییر اقلیم یک پدیده‌ی جهانی است اما اثرات آن در هر منطقه متفاوت است (IPCC, 2007). نیاز آبی نسبت به تغییر اقلیم بسیار حساس است و حساسیت بالایی به تغییر در دما و بارش دارد (Schlenker et al., 2007; Frederick & Major, 1997). میانگین نیاز آبی سالیانه به شدت با تغییر دما، تغییر می‌کند (McCabe Jr & Wolock, 1992). برای به دست آوردن متغیرهای اقلیم محلی باید از روش‌های ریزگردانی مدل‌های گردش عمومی (GCMs) استفاده کرد. GCMs پایه و اساس تولید سناریوهای تغییر اقلیم آینده هستند (Smith & Pitts, 1997). با این حال GCMs دقت فضایی پایینی دارند و مناسب استفاده در مقیاس ایستگاهی نیستند. بررسی اثرات تغییر اقلیم به دو روش ریزمقیاس‌نمایی آماری یا دینامیکی انجام میشود. از ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی برای بررسی اثرات منطقه‌ای و از ریزمقیاس‌نمایی آماری برای بررسی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس ایستگاهی پیش‌بینی‌کننده‌ها و پیش‌بینی‌شونده‌ها ایجاد می‌کند (Araya-Osses et al., 2020). زعفران یک نگرانی در شرق ایران است (Khashei Siuki et al., 2020; Ahmadee et al., 2016; Aliakbari et al., 2018). زعفران ارزشمندترین گیاه دارویی و صنعتی جهان است و ایران با ۰/۶۵ درصد، بزرگترین تولیدکننده در جهان است (Kafi et al., 2006). در ایران ۹۵ درصد زعفران در مناطق خراسان شامل تربت حیدریه، فاین، گناباد، فردوس و بیرجند و ۵ درصد باقیمانده در استهبان و اصفهان و دیگر بخش‌ها کشت می‌شود و از آنجایی که هر هکتار کشت زعفران نیاز به فعالیت ۲۷۰ شخص-روز دارد، از مهاجرت به سمت شهرها جلوگیری می‌کند (Kafi et al., 2006).

مناطق است (ghavamsaeidi noghabi et al., 2020). مطالعات کمی در منطقه خراسان برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی زعفران صورت گرفته و از مدل‌های قدیمی در این زمینه استفاده شده است. هدف از این مطالعه، محاسبه نیاز آبی زعفران در ۱۳ ایستگاه هواشناسی در منطقه‌ی شرق و شمال‌شرقی ایران با شرایط تغییر اقلیم است. مدل‌های CMIP6 (the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) و سناریوهای SSP (Socioeconomic Pathways) جدیدترین مدل‌های گردش عمومی جو هستند که تحقیقات کمی در این زمینه صورت گرفته است. این مطالعه برای اولین بار به بررسی انتخاب پارامترهای مدل‌های CMIP6 با استفاده از روش‌های هیبریدی پرداخته است. نیاز آبی در سه دوره‌ی زمانی ۲۰۳۰-۲۰۵۰، ۲۰۵۵-۲۰۷۵ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ بررسی شد. پارامترهای بارش و دما بر اساس روش هیبریدی و ویژگی‌ها انتخاب‌شده، برای سه دوره زمانی پیش‌نمایی شدند.

منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در شرق و شمال شرقی ایران بر روی ۱۳ ایستگاه سینوپتیک دو استان خراسان جنوبی و خراسان رضوی، انجام شد و دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۵ میلادی به‌عنوان دوره‌ی پایه مطالعه، تجزیه و تحلیل گردید (Lashkari et al., 2012). منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. استان‌های خراسان رضوی و جنوبی، دو قطب تولید زعفران در کشور محسوب می‌شوند و از آنجایی که گران‌ترین ادویه جهان است، نقش مهمی در اقتصاد منطقه دارد. پیش‌نمایی برای آینده در سه دوره‌ی زمانی ۲۰۳۰-۲۰۵۰، ۲۰۵۵-۲۰۷۵ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ انجام شد. از داده‌های آماری ۲۳ ایستگاه سینوپتیک در منطقه مورد مطالعه، به دلیل کم بودن تعداد سال‌های آماری در این پژوهش استفاده نشد.

و در معدود مطالعاتی از گزارش ارزیابی ششم (CMIP6) استفاده شده است (Zamani et al., 2020; Ngoma et al., 2021; Almazroui et al., 2021). نتایج بررسی تغییرات دما و بارش در آمریکا، آمریکای مرکزی و کارائیب با استفاده از مدل‌های CMIP6 برای سه دوره‌ی زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۹۵-۲۰۱۴ نشان داد، دما در تمام منطقه بررسی شده افزایش می‌یابد. بارندگی در شرق و مرکز منطقه بررسی شده در بهار و زمستان افزایش می‌یابد و در تابستان و پاییز کاهش می‌یابد (Almazroui et al., 2021). مدل‌های CMIP6 و پیش‌نمایی آینده دما و بارش پرداختند. نتایج نشان دادند که دمای میانگین سالیانه افزایش می‌یابد. بارندگی سالیانه کاهش کمی را در شمال غربی و افزایش در جنوب شرقی را نشان می‌دهد (Lovino et al., 2021). اندازه‌گیری تبخیر و تعرق را می‌توان با استفاده از تجهیزات یا روش‌های محاسباتی تبخیر و تعرق مرجع، انجام داد (Gocić et al., 2015). در سال ۱۹۹۰ سازمان خواروبار جهانی (FAO) و کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID)، روش فائو پنمن-مانتیت را برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، به‌عنوان روشی استاندارد و ارزیابی سایر روش‌ها پیشنهاد کردند (Hargreaves, 1994). رابطه پنمن-مانتیت برای برآورد تبخیر و تعرق، به دما و رطوبت نسبت به سرعت باد و ساعات آفتابی، حساسیت بیشتری دارد (Eslamian et al., 2011). در چین ۱۶ مدل برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع با روش لاسیتر وزنی مقایسه شد و در نهایت روش پنمن مانیتیت فائو به‌عنوان روش استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل پیشنهاد شد (Liu et al., 2017). تعیین مقدار آب مورد نیاز گیاهان و جلوگیری از بیش‌آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور که مشکل کمبود منابع آب دارند، یکی از راه‌های صرفه‌جویی و مصرف بهینه آب در این



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Study area

گیاه زعفران با استفاده از مدل CropWat محاسبه شد. در شکل ۲ فلوچارت تحقیق را مشاهده میکنید. در ادامه مدل‌ها و روش‌های مورد استفاده توضیح داده شده‌اند. تغییرات آینده همراه با عدم قطعیت است، به همین جهت پیش‌بینی اقلیمی آینده دشوار است. بنابراین به‌جای پیش‌بینی با یک مدل واحد، باید از طیف وسیعی از سناریوها و مدل‌های تغییر اقلیم استفاده کرد و این یکی از راه‌های کاهش عدم قطعیت است (Asseng et al., 2009). مدل‌های تجزیه و تحلیل شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

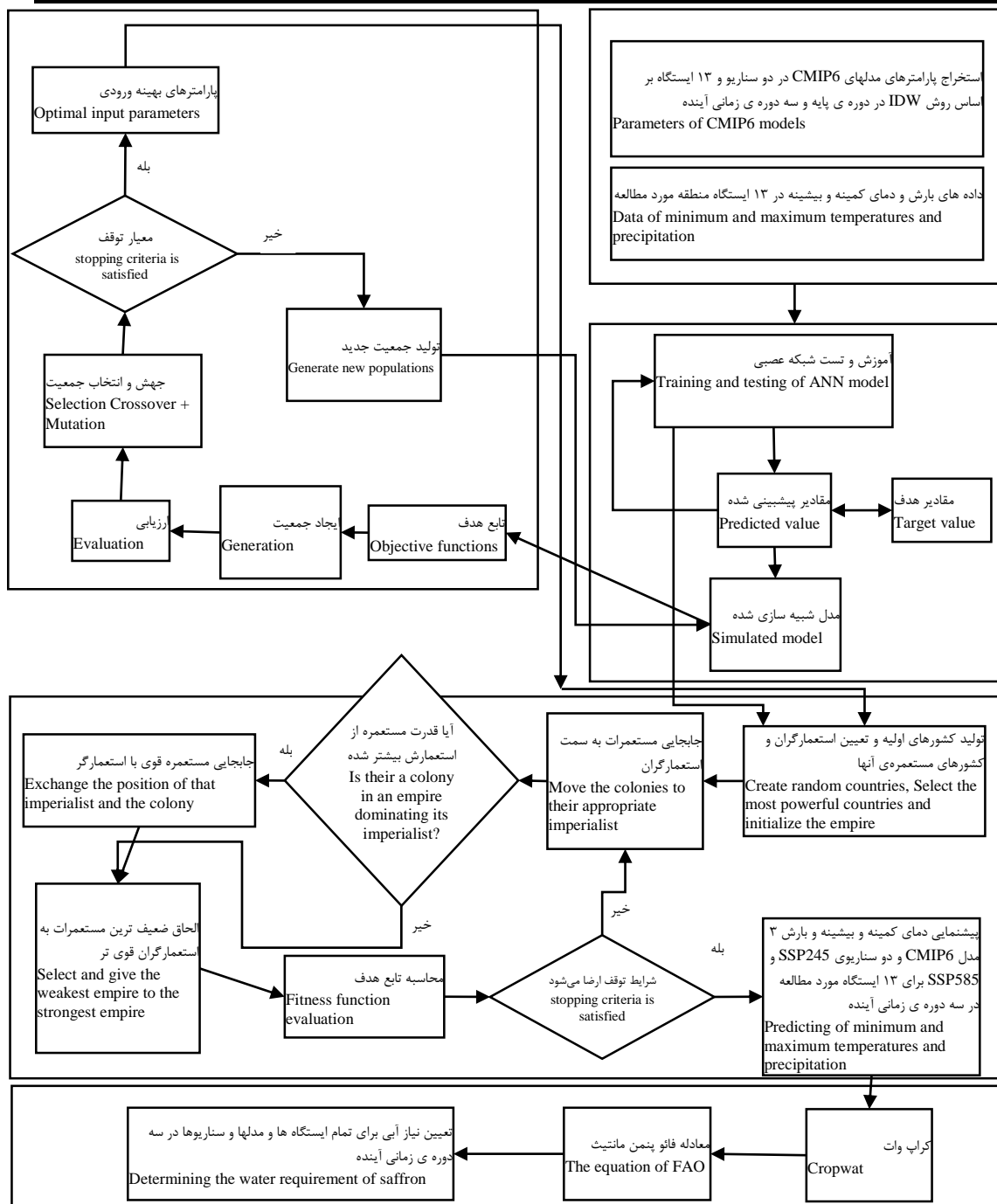
مواد و روش‌ها

در این تحقیق پارامترهای مدل‌های CMIP6 در دو سناریو برای ۱۳ ایستگاه در خراسان جنوبی و رضوی، با روش IDW، برای دوره‌ی پایه و سه دوره‌ی زمانی آینده استخراج شدند. با استفاده از الگوریتم ترکیبی (هیبرید) ANN-NSGA-II پارامترهای غالب برای پیش‌بینی دما و بارش محاسبه شدند. با استفاده از پارامترهای محاسبه شده در مرحله‌ی قبل، دما و بارش برای آینده، به کمک الگوریتم ANN-ICA پیش‌بینی شدند. در انتها نیاز آبی

جدول ۱. مدل‌های CMIP6 بررسی شده

Table 1. CMIP6 models in this study

دقت شبکه مدل Horizontal Resolution	موسسه Institute	مدل گردش عمومی GCM	
2.5°×2°	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	GFDL-CM4	CMIP6
1.4°×1.4°	Model for Interdisciplinary Research on Climate	MIROC6	
2.5°×1.9°	The Norwegian Earth System Model	NorESM2-LM	



شکل ۲. فلوجارت روش پیشنهادی این تحقیق
 Fig 2. Flow diagram of the proposed method

Simonovic et al.,) استفاده شد (*IDW*) (*weighting*) (2016; Shepard, 1968) که در رابطه (۱) و (۲) نشان داده شده است.

$$W_j = \frac{\frac{1}{d_j^2}}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \frac{1}{d_3^2} + \frac{1}{d_4^2}} \quad (1)$$

داده‌های مدل GCM به صورت شبکه‌ای هستند و موقعیت ایستگاه سینوپتیک در داخل یک شبکه از داده‌های GCM قرار می‌گیرد. داده‌های مدل‌های GCM در رأس‌های شبکه‌ها قرار می‌گیرد. بنابراین برای استخراج سری زمانی داده‌های حاصل از برونداد مدل‌های گردش عمومی جو در محل ایستگاه‌های مورد استفاده از درون‌یابی فضایی استفاده شد. برای درون‌یابی فضایی از تکنیک وزن دهی فاصله معکوس (*Inverse distance*)

(۴) به دست آمد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{obs} - Z_{GCM})^2} \quad (۳)$$

$$Relative\ bias = \frac{Z_{GCM}}{Z_{obs}} \times 100 - 100 \quad (۴)$$

در معادله (۳) و (۴) مقدار داده‌های مدل‌سازی شده در دوره زمانی سالیانه و Z_{obs} مقادیر داده‌های مشاهداتی در دوره زمانی سالیانه است. رطوبت نسبی و سرعت باد با دمای کمینه و بیشینه ارتباط خوبی دارد، برای ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه از طریق رگرسیون چندگانه خطی، روابط رطوبت نسبی و سرعت باد محاسبه شد. قبلاً اعتبارسنجی این روش انجام شده است (Alizade & Kamali, 2007). به‌عنوان نمونه در ایستگاه بیرجند رابطه (۵) برای رطوبت نسبی و رابطه (۶) برای سرعت باد به دست آمدند. در معادله (۵) Humidity درصد رطوبت نسبی هوا و در معادله (۶) Wind سرعت باد برحسب متر بر ثانیه است.

$$Humidity = 92.147 + (1.536 * T_{min}) - (2.792 * T_{max}) \quad (۵)$$

$$Wind = 3.315 + (0.213 * T_{min}) - (0.128 * T_{max}) \quad (۶)$$

کراپ وات برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل از معادله‌ی فائو پنمن مانیتث استفاده می‌کند. معادله‌ی فائو پنمن مانیتث برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع به‌صورت رابطه‌ی (۸) است (Allen et al., 1998). که در رابطه‌ی (۸) ETo مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، $e_a - e_d$ کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری، Δ شیب منحنی فشار بخار، γ ضریب رطوبتی (ضریب ثابت سایکرومتری)، G شار گرما به داخل خاک می‌باشد.

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۸)$$

$$S_i(t) = \sum_{j=1}^4 W_j \times S_j(t) \quad (۲)$$

W_j وزن چهار نقطه شبکه GCM نزدیک به ایستگاه است. d_1, d_2, d_3, d_4 فاصله بین ایستگاه S_i و چهار نقطه اطراف ایستگاه در شبکه مدل GCM می‌باشند. S_j مقدار متغیر اقلیمی نقاط شبکه مدل GCM است. S_i مجموع میانگین وزنی متغیر اقلیمی برای دوره زمانی t است، درواقع S_i برابر با مقدار متغیر اقلیمی مدل در محل ایستگاه با استفاده از درون‌یابی می‌باشد. به‌منظور ارزیابی دقت مدل‌های اقلیم جهانی CMIP6 در توصیف تغییرات و پارامترهای اصلی اقلیم بارش، دمای کمینه و بیشینه در شرق و شمال شرق ایران، بایاس نسبی و مجذور میانگین مربعات خطا بین میانگین مدل‌های GCM و مقادیر مشاهداتی محاسبه شد. مجذور میانگین مربعات خطا و بایاس‌ها با در نظر گرفتن درصد سالیانه مقادیر محاسبه شده به‌وسیله GCM ها و داده‌های مشاهداتی هرکدام از ایستگاه‌ها به ترتیب با استفاده از رابطه (۳) و

از آنجایی که سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی برحسب نات و در ارتفاع ۱۰ متری اندازه‌گیری می‌شود، اما در مدل کراپ وات، سرعت باد برحسب کیلومتر بر روز و در ارتفاع ۲ متری استفاده می‌شود، ابتدا سرعت باد از نات به کیلومتر بر روز تبدیل شد و با استفاده از رابطه (۷) سرعت باد در ارتفاع در ارتفاع ۲ متری محاسبه شد.

$$U_2 = \frac{4.868 \times U_{10}}{\ln(67.75 \times H - 5.42)} \quad (۷)$$

در معادله (۷) U_2, U_{10} و H سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، ۱۰ متری و ارتفاع ایستگاه هواشناسی است. برای محاسبه‌ی نیاز آبی گیاه از مدل کراپ وات استفاده شد.

رقابت استعماری را مطرح کردند. بر خلاف الگوریتم‌های دیگر که به تکامل زیستی پرداخته‌اند، الگوریتم رقابت استعماری به تکامل اجتماعی و سیاسی بشر توجه کرده است و با مدلسازی ریاضی آن، یک الگوریتم قدرتمند در زمینه بهینه‌سازی ایجاد شده‌است. توضیحات مربوط به الگوریتم رقابت استعماری به طور کامل در این رفرنس آمده است (Atashpaz-Gargari & Lucas, 2007).

بر اساس مطالعه خاشعی سیوکی و همکاران مقدار ضریب گیاهی (kc) برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه، میانی و نهایی به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۶۶، ۰/۸۶ و ۰/۴۶ در نظر گرفته شد (Khashei Siuki et al., 2020). برای پیشنهادی دمای بیشینه و کمینه و بارش در سه دوره زمانی در آینده از ترکیب دو الگوریتم ANN-NSGA-II و ANN-ICA استفاده شد.

نتایج و بحث

برای درون‌یابی فضایی پارامترهای مدل‌های CMIP6 در دو سناریو از IDW استفاده شد. درون‌یابی برای ۱۳ ایستگاه، ۳ مدل، ۲ سناریو و ۱۴ پارامتر انجام شد. در واقع درون‌یابی پارامترها برای مقیاس ایستگاهی، ۱۰۹۲ بار انجام شد. از مدل ترکیبی ANN-NSGA-II برای بدست آوردن بهترین پارامترهای ورودی استفاده شد. پارامترهای $Total\ Cloud\ Cover\ Percentage$ Clt درصد پوشش ابر، $Surface\ Upward\ Latent\ Hfls$ شار حرارتی پنهان، $Surface\ Heat\ Flux$ شار حرارتی پنهان، $Upward\ Sensible\ Heat\ Flux$ شار حرارتی آشفتگی، $Hurs$ (Near-Surface Relative Humidity) رطوبت نسبی در سطح زمین، $Huss$ (Near-Surface Specific Humidity) رطوبت ویژه در سطح زمین، Pr (Precipitation) بارش، Psl (Sea Level Pressure) فشار سطح دریا، Tas (Near-Surface Air Temperature) دمای هوا در سطح زمین، $Tasmax$ (Daily Maximum Near-Surface Air Temperature) دمای بیشینه سطح زمین، $Tasmin$ (Daily Minimum Near-Surface Air Temperature) دمای کمینه در سطح زمین، Ua (Eastward Wind) باد منطقه‌ای در جهت شرق، Va (Northward Wind) باد نصف النهار در جهت شمال، Zg (Geopotential Height) ارتفاع ژئوپتانسیل و Wap ($\Omega = dp/dt$) سرعت عمودی در مختصات فشار) برای پیشنهادی پارامترهای اقلیمی استفاده می‌شود، پرسش بنیادین بر این اصل استوار است که کدامین از این پارامترها برای پیشنهادی پارامتر مورد نظر مناسب‌تر است. هدف استفاده از این مدل پیشنهادی، کم کردن خطای مدل و همچنین بدست آوردن پارامترهای اصلی برای پیشنهادی آینده است. مجموعه‌ی پارامترهای اصلی برای ۷۸ مورد (۱۳ ایستگاه، ۳ مدل اقلیمی و ۲

الگوریتم ژنتیک NSGAII

دب و همکاران در سال ۲۰۰۲، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی غیر مغلوب NSGA-II را ایجاد کردند، که کاربرد آن در زمینه‌ی حل مسائل بهینه چندهدفه است (Deb et al., 2002). در این تحقیق برای یافتن متغیرهای غالب و حداقل میزان خطا، از الگوریتم چند هدفه‌ی NSGA-II استفاده شد. تابع دو هدفه الگوریتم در رابطه (۹) نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} \min z_1 &= E \\ \min z_2 &= nf \end{aligned} \quad (9)$$

که در رابطه‌ی (۹)، E میزان خطا و nf تعداد ویژگی‌ها یا متغیرهای ورودی موثر می‌باشد.

شبکه‌های عصبی MLP

پرسپترون چند لایه یک شبکه‌ی عصبی پس انتشار کلاسیک است که شامل یک لایه‌ی ورودی، یک لایه‌ی خروجی و لایه‌های میانی (لایه‌های پنهان) می‌باشد و هر لایه از چندین نرون تشکیل شده است. مقدار یک نرون از مجموع وزن‌دار نرون‌های لایه‌ی قبلی به‌علاوه مقدار بایاس محاسبه می‌شود. تعداد نرون‌ها در لایه ورودی و خروجی به ترتیب برابر با تعداد ویژگی‌ها و پارامتر خروجی است (Baran et al., 2021). شبکه عصبی به طور کامل در این رفرنس توضیح داده شده است (Goodfellow et al., 2016). پارامترهای تأثیرگذار لایه ورودی مدل (Díaz-Álvarez et al., 2018)، از ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم بهینه‌سازی NSGA-II محاسبه شد تا بهترین ورودی‌ها و کمترین میزان خطا بدست بیاید. برای کاهش خطا در هر مرحله، میانگین ۵ بار اجرای شبکه عصبی محاسبه شد.

الگوریتم رقابت استعماری ICA

آتش‌پز و لوکاس در سال ۲۰۰۷ برای اولین بار الگوریتم

RMSE را $1/603$ در بیرجند محاسبه کرد، که تقریباً با مقدار محاسبه شده در این تحقیق برابر است.

بایاس نسبی

برای پیش‌نمایی آینده دمای کمینه و بیشینه و بارش از مدل ترکیبی ANN-ICA استفاده شد. برای ارزیابی پارامترها از بایاس نسبی استفاده شد. حالت‌های بررسی در این قسمت 702 حالت (۱۳ ایستگاه، ۲ سناریوی اقلیمی، ۳ دوره زمانی، ۳ مدل اقلیمی، ۳ پارامتر دما کمینه و حدکثر و بارش) می‌باشد. مقدار بایاس نسبی مثبت، تخمین بیشتر و بایاس منفی تخمین کمتر مقدار پارامتر مورد نظر را نشان می‌دهد (Zamani et al., 2020). جدول ۴ مقادیر بایاس نسبی را برای دمای کمینه نشان می‌دهد. نتایج نشان داد، دمای کمینه در ۱۸ درصد حالت‌های مختلف نسبت به دوره پایه کاهش یافته است، بنابراین در ۸۲ درصد موارد، دمای کمینه افزایش یافته است. نتایج پیش‌نمایی دمای کمینه نشان دادند، مدل‌های NorESM2-LM، MIROC6 و GFDL-CM4 به ترتیب ۱۶، ۲۰ و ۱۷ درصد مقدار بایاس نسبی منفی داشتند، که نشان می‌دهد مدل NorESM2-LM، برآورد دمای کمینه بیشتری دارد. مدل MIROC6 در تربت حیدریه بیشترین بایاس نسبی با مقدار ۶۲ درصد در دوره $2055-2075$ داشت. نتایج میانگین سه مدل در هر دو سناریو نشان داد، در هر سه دوره $2030-2050$ ، $2055-2075$ و $2080-2100$ دمای کمینه افزایش می‌یابد و بیشترین میانگین افزایش در تربت حیدریه و کمترین مقدار افزایش در فردوس محاسبه شد. میانگین افزایش دمای کمینه مدل‌های GFDL-CM4، MIROC6 و NorESM2-LM در سناریو SSP245 و SSP585 به ترتیب برابر با (۱۰ و ۱۳)، (۸/۷ و ۱۱/۶) و (۹/۱ و ۱۷/۳) درصد محاسبه شد. بر اساس تحقیق پورمحمدی و همکاران (Pourmohamadi et al., 2019) دمای کمینه بین ۱۳ تا ۲۰ درصد نسبت به دوره-ی پایه افزایش خواهد یافت، که مطابق با این تحقیق است.

سناریو) محاسبه شد. به عنوان نمونه انتخاب پارامترهای موثر مدل MIROC6 در پیش‌نمایی بارش بیرجند، در شکل ۳ نشان داده شده است. nf در شکل ۳ تعداد پارامترهای موثر است، با افزایش تعداد پارامترها مقدار RMSE کاهش پیدا کرده است. همانطور که در شکل نشان داده شده با ۶ پارامتر (nf) مقدار RMSE برابر با $2/05$ میلی‌متر محاسبه شد. بنابراین ۶ پارامتر انتخاب شده توسط مدل ترکیبی بهینه‌سازی برای پیش‌نمایی آینده استفاده شد. ذکر این نکته ضروری است که تمام پارامترها (nf)، به عنوان یک جواب پیش‌فرض برای مدل ترکیبی در نظر گرفته شد.

پارامترهای انتخاب شده مدل GFDL-CM4 برای ایستگاه‌های مورد بررسی در این تحقیق، در جدول ۲ نشان داده شده است. پارامترهای Hfss و Hfls در ۹۰ درصد موارد برای پیش‌نمایی آینده بارش، دمای بیشینه و کمینه انتخاب شده‌اند. کمترین پارامتر انتخاب شده با ۳۰ درصد Pr بود. برای پیش‌نمایی دمای کمینه در گناباد و قاین، دمای بیشینه و کمینه در قوچان ۱۲ پارامتر انتخاب شد، که بیشترین پارامتر انتخاب شده در تمام موارد است. ۶ پارامتر برای بارش در بیرجند و فردوس، دمای کمینه در کاشمر و نهبندان و سرخس و دمای بیشینه در طبس انتخاب شد، که کمترین پارامتر انتخاب شده است.

مقادیر RMSE پارامترهای اقلیمی بارش (P)، دمای بیشینه (T) و دمای کمینه (t) در جدول ۳ نشان داده شده است. نستوس و همکاران (Nastos et al., 2014) به مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی حداکثر بارندگی روزانه در آتن پرداختند و مقدار RMSE برابر با $16/4$ میلی‌متر محاسبه شد، که مقادیر RMSE در این تحقیق بسیار بهتر است. هوت (Huth, 2002). به بررسی ریزمقیاس‌نمایی آماری در اروپای مرکزی پرداخت و مقادیر RMSE دما بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (پارامترهای اقلیمی) و مقادیر مشاهده‌ای را در بازه‌ی $3/85$ تا $4/09$ محاسبه کرد، که مطابق با نتایج این تحقیق است. خاشعی سیوکی و همکاران (Khashei Siuki et al., 2018) در بررسی عملکرد روش‌های ANN و SVM برای ریزمقیاس‌نمایی بارش روزانه مناطق خشک، مقدار

جدول ۳. مقادیر RMSE پارمترهای اقلیمی

Table 3. RMSE values of climatic parameters

	Birj and	Ferdows	Golmakan	Gonabad	Kashmar	Mashhad	Nehbandan	Qaen	Quchan	Sabzevar	Sarakhs	Tabas	Torbat
P	2	2	2.14	1.92	2.54	2.72	2.23	2.2	2.9	2.24	2.27	1.3	3.1
T	3.8	3.9	4.7	4	3.9	5	3.9	4.3	4.8	4.2	5.6	3.7	4
t	3.7	3.2	3.8	3.4	3.5	3.9	3.55	3.4	3.7	3.4	3.5	3.6	4

جدول ۴. مقادیر بایاس نسبی دمای کمینه در دو سناریو و سه دوره زمانی

Table 4. Relative bias values of minimum temperature in two scenarios and three time periods

		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
GFDL-CM4	A245	11	24	9	-1	14	18	-22	13	6	37	0	15	11
	B245	1	19	12	0	14	24	-15	12	5	50	4	15	26
	C245	-1	14	15	0	14	15	-9	-1	6	42	-2	15	-2
	A585	8	11	19	-4	29	-3	-4	20	8	8	-5	12	28
	B585	20	10	20	4	26	12	8	7	-15	14	17	15	39
	C585	12	21	27	-6	30	22	1	23	13	3	22	15	40
MIROC6	A245	15	-12	-17	12	10	-13	7	8	4	5	17	12	11
	B245	0	-9	4	10	10	-2	9	4	32	12	30	9	62
	C245	13	-11	4	9	15	-3	-3	11	11	11	20	12	21
	A585	23	14	2	17	24	21	21	15	9	-4	16	18	24
	B585	22	13	-15	20	15	14	26	-14	-13	-5	17	22	32
	C585	23	7	-25	21	12	10	28	15	-7	-7	16	15	12
NorESM2-LM	A245	11	-3	-5	16	10	4	11	15	24	10	2	11	11
	B245	8	0	-2	17	6	-1	16	11	19	11	2	16	19
	C245	17	-2	-4	19	0	-5	16	-3	21	14	10	19	15
	A585	31	-3	22	-2	22	30	5	19	39	33	7	15	7
	B585	26	-7	29	-4	23	51	13	32	39	31	-2	17	4
	C585	21	2	18	1	18	33	16	19	24	24	10	14	2

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m به ترتیب نشان دهنده بیرجند، فردوس، گلکان، گناباد، کاشمر، مشهد، نهبندان، قاین، قوچان، سبزوار، سرخس، طبس و تربت حیدریه. A245، B245 و C245 به ترتیب نشان دهنده دوره‌ی زمانی ۲۰۳۰-۲۰۵۰، ۲۰۵۵-۲۰۷۵ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰.

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m represent Birjand, Ferdows, Golmakan, Gonabad, Kashmar, Mashhad, Nehbandan, Qaen, Quchan, Sabzevar, Sarakhs, Tabas and Torbat E H, respectively. A245, B245 and C245 represent the period 2030-2050, 2055-2075 and 2080-2100, respectively.

بنابراین کمترین موارد افزایش دمای بیشینه در سناریوی SSP245 مدل GFDL-CM4 اتفاق افتاد. بیشترین افزایش دمای بیشینه با مقدار ۲۰ درصد، در مدل GFDL-CM4 و سناریوی SSP585 در دوره‌ی زمانی ۲۰۸۰-۲۱۰۰، در گلکان و مشهد محاسبه شد. اسمبل مدل‌ها، در واقع میانگین ۳ مدل و ۲ سناریو، نشان داد در هر سه دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۵۰، ۲۰۵۵-۲۰۷۵ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ دمای بیشینه افزایش می‌یابد بجز بیرجند در دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۵۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ و نهبندان و قاین در ۲۰۸۰-۲۱۰۰ که دمای بیشینه کاهش یافت. میانگین

مقادیر درصد بایاس نسبی دمای بیشینه در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد، دمای بیشینه در ۷۱ درصد حالات افزایش یافت. نتایج نشان داد دمای بیشینه برای مدل GFDL-CM4 در سناریوی SSP245 و SSP585 به ترتیب ۳۸ و ۸۷ درصد موارد، افزایش یافت. در سناریوی SSP245 و SSP585 مدل MIROC6 افزایش دمای بیشینه به ترتیب در ۸۹ و ۸۲ درصد موارد، محاسبه شد. در حالت‌های مورد بررسی مدل NorESM2-LM دمای بیشینه به ترتیب ۴۸ و ۷۹ درصد در سناریوی SSP245 و SSP585 افزایش یافت.

افزایش دمای بیشینه در سناریو SSP245 و SSP585 به ترتیب برابر با (۱- و ۵/۶) درصد در مدل GFDL-CM4، (۵/۷ و ۲/۴) درصد در مدل MIROC6 و (۴/۷ و ۰/۶) درصد در مدل NorESM2-LM محاسبه شد. مطابق با این تحقیق است.

افزایش دمای بیشینه در سناریو SSP245 و SSP585 به ترتیب برابر با (۱- و ۵/۶) درصد در مدل GFDL-CM4، (۵/۷ و ۲/۴) درصد در مدل MIROC6 و (۴/۷ و ۰/۶) درصد در مدل NorESM2-LM محاسبه شد.

جدول ۵. مقادیر بایاس نسبی دمای بیشینه در دو سناریو و سه دوره زمانی

Table 5. Relative bias values of maximum temperature in two scenarios and three time periods

		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
GFDL-CM4	A245	-12	2	8	-1	-12	11	-11	-8	-6	-9	5	-4	2
	B245	-5	-3	8	4	-6	15	-6	-6	-3	-7	13	-2	2
	C245	-8	4	12	-5	-7	6	-11	-7	-3	-1	3	-7	7
	A585	1	2	3	-4	3	12	5	5	6	2	3	7	0
	B585	6	-1	8	-5	5	11	9	15	13	3	5	4	-2
	C585	2	0	20	-2	7	20	5	3	16	8	5	14	4
MIROC6	A245	-3	0	-7	4	5	6	10	11	3	8	7	5	12
	B245	1	6	-3	11	9	8	8	9	2	12	10	6	11
	C245	-5	0	0	9	5	12	6	7	4	9	9	5	11
	A585	-1	6	1	5	5	4	8	-1	4	7	2	-4	3
	B585	1	9	1	6	5	10	6	1	4	7	1	1	5
	C585	0	3	-3	-5	0	3	2	-13	0	11	-2	2	0
NorESM2-LM	A245	-3	-6	10	-1	8	6	-2	5	8	-3	-1	-3	-11
	B245	-2	-4	9	1	10	5	0	4	6	-2	-2	-1	-10
	C245	-3	1	1	4	5	2	-4	3	10	-4	-1	-4	-6
	A585	9	0	12	13	1	16	-5	1	6	0	5	7	10
	B585	8	2	14	14	-6	13	-5	2	12	0	1	3	9
	C585	9	3	10	10	-3	12	-4	-2	0	-5	-1	3	9

افزایش پیدا کرد. بیشترین پیش‌نمایی کاهش بارش در مدل MIROC6 سناریوی SSP585 با ۸۹ درصد موارد اتفاق افتاد. میانگین کاهش بارش مدل‌های GFDL-CM4، MIROC6 و NorESM2-LM در سناریو SSP245 به ترتیب برابر با ۸/۶، ۱۰ و ۶/۶ درصد و در سناریو SSP585 به ترتیب برابر با ۵/۷، ۱۲ و ۸/۲ درصد محاسبه شد. نتایج میانگین بایاس نسبی در آینده نشان داد، دما افزایش و بارندگی کاهش می‌یابد. این نتایج با تحقیق عارف و علیجانی (Aref & Alijani, 2018) مطابقت داشت، که افزایش دما و کاهش بارش را پیش‌بینی کردند.

جدول ۶ مقادیر بایاس نسبی را برای بارش نشان می‌دهد. نتایج نشان داد، درصد بایاس نسبی در ۷۵ درصد حالت‌های مختلف بارش کاهش یافته است. درصد بایاس منفی نشان دهنده کاهش یافتن بارندگی در دوره زمانی آینده است. درصد بایاس نسبی سبزواری و سرخس در هر سه مدل و دو سناریو و سه دوره‌ی زمانی بررسی شده، منفی شد، که نشان دهنده شرایط بد این دو منطقه در آینده است. مقادیر اسمبل مدل‌ها (میانگین مدل‌ها در هر دو سناریو)، در واقع میانگین بایاس نسبی در سه دوره‌ی زمانی ۲۰۳۰-۲۰۵۰، ۲۰۵۵-۲۰۷۵ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ است، که نشان داد در تمام موارد بارش کاهش پیدا می‌کند، بجز قوچان که در دوره‌ی زمانی ۲۰۸۰-۲۱۰۰ بارش

جدول ۶. مقدر بایاس نسبی بارش در دو سناریو و سه دوره زمانی
Table 6. Relative bias values of precipitation in two scenarios and three time periods

		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
GFDL-CM4	A245	-19	-19	-9	16	8	-9	-18	27	-13	-14	-33	7	-16
	B245	-37	-12	-10	4	1	-1	-30	16	-15	-23	-27	9	-17
	C245	-36	-7	2	13	-1	-21	-32	18	-1	-9	-27	10	-11
	A585	3	-8	-17	-7	24	6	4	-8	35	-8	-13	-46	13
	B585	29	-20	-23	-18	22	-12	-5	-6	0	-14	-16	-45	1
	C585	-10	-17	-18	-13	19	-13	-7	-12	25	-15	-2	-48	18
MIROC6	A245	2	2	-17	-10	-8	4	3	-13	-10	-10	-7	3	-14
	B245	-16	-10	-32	-30	-19	-10	-4	-1	-22	-36	-2	-17	9
	C245	-7	-23	-13	-2	-9	0	6	-13	-13	-24	-6	-15	-8
	A585	-16	-11	-15	-14	-6	-15	4	-23	-6	-3	-9	-21	-1
	B585	-26	-4	-28	-17	-12	-20	-9	-32	2	-14	-13	-24	-19
	C585	-24	-7	-13	6	0	-12	-3	-18	-14	-3	-9	-1	-19
NorESM2-LM	A245	-6	-2	5	-15	-19	-15	1	-7	6	-23	-6	-16	-4
	B245	-18	8	13	-14	-14	-9	1	-9	11	-14	-8	-11	1
	C245	-21	3	3	-19	-12	-8	-11	6	14	-17	-11	-14	-9
	A585	2	-15	-10	-6	-10	-13	-6	-10	-19	-20	-20	1	-19
	B585	2	-14	5	-13	-5	-9	-23	-9	-14	-11	-12	2	-18
	C585	18	-11	5	-8	-7	-11	0	-7	-2	-14	-13	8	-13

تغییرات نیاز آبی

اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه نیاز آبی زعفران شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش، رطوبت نسبی و سرعت باد برای داده‌های مشاهداتی در دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۵ از ایستگاه‌های سینوپتیک و برای سناریوهای SSP245 و SSP585 در سه دوره‌ی زمانی ۲۰۳۰-۲۰۵۰، ۲۰۵۵-۲۰۷۵ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ از مدل‌های CMIP6 محاسبه شد. نیاز آبی دوره‌ی پایه ۱۹۸۷-۲۰۰۵ بر اساس داده‌های مشاهداتی برای بیرجند، فردوس، گل‌مکان، گناباد، کاشمر، مشهد، نهبندان، قائن، قوچان، سبزواری، سرخس، طبس و تربت‌حیدریه به ترتیب برابر با ۱۵۲/۹، ۱۷۳/۱، ۱۸۴/۳، ۱۹۰/۱، ۲۳۳/۵، ۲۴۵/۵، ۲۵۳/۶، ۲۱۷/۴، ۱۳۴/۱، ۲۲۳/۶، ۱۷۷/۳، ۲۱۱/۳ و ۱۶۲/۹ محاسبه شد. بیشترین و کمترین نیاز آبی به ترتیب در نهبندان و قوچان اتفاق افتاد. مقدار نیاز آبی در تربت حیدریه ۱۶۲/۹ میلیمتر محاسبه شد، که تقریباً مشابه با مقدار محاسبه شده در تحقیق علی اکبری و همکاران (Aliakbari et al., 2018) با ۱۷۳/۱ مترمکعب در هکتار است. نیاز آبی در بیرجند ۲۴۵/۵ میلیمتر محاسبه شد که مشابه مقدار محاسبه شده در تحقیق احمدی و همکاران (Ahmadee et al., 2016) است.

همچنین علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 1999) مقدار نیاز آبی در بیرجند را ۲۴۲ میلیمتر محاسبه کردند که بسیار نزدیک به مقدار محاسبه شده در این تحقیق است. جدول ۷ تغییرات نیاز آبی زعفران را در دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۳۰، ۲۰۷۵-۲۰۵۵ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ سناریوهای SSP245 و SSP585 و مدل‌های GFDL-CM4، MIROC6 و NorESM2-LM نشان می‌دهد. نتایج نشان داد، نیاز آبی در ۲۳۴ حالت مورد بررسی (دو سناریو و سه دوره زمانی و سه مدل CMIP6 و ۱۳ ایستگاه) ۹۰ درصد نسبت به دوره‌ی پایه (۱۹۸۷-۲۰۰۵) افزایش یافت. نهبندان با ۳۵ میلیمتر بیشترین میانگین تغییر نیاز آبی را در حالت‌های مورد بررسی (میانگین سه مدل) دارد. بیشترین افزایش نیاز آبی با مقدار ۸۷/۱ میلیمتر در گل‌مکان در دوره‌ی زمانی ۲۰۷۵-۲۰۵۵ و مدل MIROC6 و کمترین افزایش نیاز آبی در تربت حیدریه با ۰/۳ میلیمتر در NorESM2-LM و دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ محاسبه شد. کمترین کاهش نیاز آبی ۲۶ میلیمتر و در تربت حیدریه در مدل GFDL-CM4 در دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۵ و سناریوی SSP245 بدست آمد. مدل MIROC6 در سناریوی SSP245 در هر سه دوره زمانی کاهش نیاز آبی در فردوس را پیشنهاد می‌کند.

برآورد دمای کمینه بیشتری دارد. نتایج جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh et al., 2015) نشان داد، نیاز آبی مناطق مستعد کاشت زعفران در خراسان جنوبی تحت شرایط تغییر اقلیم، افزایش می‌یابد، که مطابق با نتایج این تحقیق است.

مدل NorESM2-LM، ۵ درصد (۴ مورد) کاهش نیاز آبی، درحالی که در مدل‌های MIROC6 و GFDL-CM4 ۱۲ درصد کاهش نیاز آبی مشاهده شد، که این نشان‌دهنده‌ی تخمین نیاز آبی بیشتر برای مدل NorESM2-LM، نسبت به دو مدل دیگر است. همچنین نتایج بایاس نسبی نشان داد که این مدل

جدول ۷. تغییرات نیاز آبی زعفران در دو سناریو و سه دوره زمانی

Table 7. Changes in saffron water requirement in two scenarios and three time periods

		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	L	m
GFDL-CM4	A245	10.6	26.9	37.2	19.7	-10	37	-18	7.7	32	-16	38.1	28.6	-0.7
	B245	3.5	21.5	50.4	19.5	12.8	20.5	10.1	-13	35.3	18.7	36.8	29.7	-26
	C245	23.6	3.4	41.6	10.8	12	41.8	-4.9	9.2	34.3	-21	60.8	35.7	8.3
	A585	15.2	6.5	55.1	5.4	-14	30.2	5.1	26.3	10.4	24.4	4.3	28.5	41.6
	B585	25.2	15.7	87.1	5.8	61.7	52.7	32	22.7	23.7	29	40.7	32.7	53.8
	C585	38.2	3.6	49.2	1.7	47	23.2	56	18.9	-2	28.6	33.2	26.2	37.1
MIROC6	A245	12	-8.5	-9.7	24.8	1.7	14.9	32.3	26.6	14.6	27.8	23.5	38.2	12
	B245	4.3	-11	5.2	8.7	26.2	22.6	-8.7	23.4	18.9	33	37.9	35	22.1
	C245	-2.9	-3.9	-1.2	10	2.6	22.8	29.1	13.6	21	50.3	41.9	28.4	63.5
	A585	11.8	10.9	17.4	28.8	19.5	13	20.1	24.8	26.9	42.7	53.2	36.3	34.5
	B585	18.8	-3.2	-7.6	31.8	-1.9	4.5	70.1	6.4	12.7	44.9	36.7	35.2	19.5
	C585	9.7	15.7	2.9	44.8	7.2	18	69.3	9.3	7.1	39.7	50	44.3	37.7
NorESM2-LM	A245	17.3	1.5	24	6	25	28.4	31.4	40.4	8.9	10.1	21.3	24	0.3
	B245	23.2	16.7	4.6	20.2	3.1	17.1	55.1	32	10.2	9.6	24.1	38.2	10.5
	C245	16.5	8	18.8	5.1	9.3	22.8	58.3	36.2	6.5	13	22.3	38.3	-1.1
	A585	31.1	-4.4	23.8	37.8	15.4	52	56.8	49.3	23.4	9.3	16.9	45	12.2
	B585	13	2.4	18.8	39.4	2.1	44.1	71.7	33.5	6.9	-20	4.9	37.2	4.7
	C585	18	-14	30.4	23.3	16.5	54.1	65	50.7	28.5	7.5	1.1	40.7	5.6

داد در تمام موارد دمای کمینه افزایش می‌یابد. نتایج میانگین بایاس نسبی برای متغیر بارش نشان داد که بجز قوچان، بارش در بقیه نقاط مورد مطالعه کاهش پیدا می‌کند. میانگین بایاس نسبی برای متغیر دمای بیشینه نشان داد، بجز بیرجند در دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۵۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ و نهبندان و قاین در ۲۰۸۰-۲۱۰۰، در هر سه دوره‌ی زمانی دمای بیشینه افزایش می‌یابد. بنابراین مقادیر بایاس نشان داد دما افزایش و بارش کاهش پیدا می‌کند. نتایج تغییرات نیاز آبی نشان داد در ۹۰ درصد موارد مورد بررسی، نیاز آبی افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه از دو سناریوی SSP245 و SSP585 و سه مدل CMIP6 برای محاسبه اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی زعفران در ۱۳ منطقه خراسان جنوبی و رضوی و سه دوره‌ی زمانی استفاده شد. برای دمای کمینه، مدل‌های NorESM2-LM، MIROC6 و GFDL-CM4 به ترتیب ۱۶، ۲۰ و ۱۷ درصد، بایاس نسبی منفی داشتند، که نشان می‌دهد مدل NorESM2-LM برآورد دمای کمینه بیشتری دارد. مقادیر میانگین بایاس نسبی نشان

منابع

- Ahmadee, M., Khashei Siuki, A., & Sayyari, M. h. (2016). Comparison of Efficiency of Different Equations to Estimate the Water Requirement in Saffron (*Crocus sativus* L.) (Case Study: Birjand Plain, Iran). *Journal of Agroecology*, 8(4), 505-520. [in Persian].
- Aliakbari, P., salari, a., & KhasheiSiuki, A. (2018). Determine of the Actual and Potential Evapotranspiration and Appropriate Model for Determining Water Requirement of Saffron (Case study: Torbat Heydarieh). *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(3), 1051-1061. [in Persian].
- Alizade, A., & Kamali, G. A. (2007). Crops water requirements in Iran. *Astan Qods Razavi*. [in Persian].
- Alizadeh, A., Mahdavi, M., Iranloo, M., & Bazari, M. E. (1999). Evapo-transpiration and crop coefficient of saffron (*Crocus sativus*).

- Geographical Research*, 54, 29-42. [in Persian].
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*.
- Almazroui, M., Islam, M. N., Saeed, F., Saeed, S., Ismail, M., Ehsan, M. A., & Barlow, M. (2021). Projected changes in temperature and precipitation over the United States, Central America, and the Caribbean in CMIP6 GCMs. *Earth Systems and Environment*, 5(1), 1-24.
- Araya-Osses, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C., Uribe, J. M., & Paneque, M. (2020). Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*, 54(9), 4309-4330.
- Aref, M. A., & Alijani, B. (2018). Investigation of temperature and precipitation variations of Yazd-Ardakan basin with SDSM under the conditions of future climate change. *Arid Biome*, 8(1), 89-101. [in Persian].
- Asseng, S., Cao, W., Zhang, W., & Ludwig, F. (2009). Crop physiology, modelling and climate change: impact and adaptation strategies. *Crop Physiol*, 511-543.
- Atashpaz-Gargari, E., & Lucas, C. (2007). *Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition*. In 2007 IEEE congress on evolutionary computation. 4661-4667.
- Baran, A., Lerch, S., El Ayari, M., & Baran, S. (2021). Machine learning for total cloud cover prediction. *Neural Computing and Applications*, 33(7), 2605-2620.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.
- Díaz-Álvarez, A., Clavijo, M., Jiménez, F., Talavera, E., & Serradilla, F. (2018). Modelling the human lane-change execution behaviour through multilayer perceptrons and convolutional neural networks. *Transportation research part F: traffic psychology and behavior*, 56, 134-148.
- Eslamian, S., Khordadi, M. J., & Abedi-Koupai, J. (2011). Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions. *Global and Planetary Change*, 78(3-4), 188-194.
- farajnia, A., & Moravej, K. (2020). Agro climatic Zoning of Saffron Culture in East Azarbayjan Province. *Journal of Saffron Research*, 7(2), 251-267. [in Persian].
- Frederick, K. D. & Major, D. C. (1997). Climate change and water resources. *Climatic change*, 37(1), 7-23.
- Gocić, M., Motamedi, S., Shamshirband, S., Petković, D., Ch, S., Hashim, R., & Arif, M. (2015). Soft computing approaches for forecasting reference evapotranspiration. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 164-173.
- ghavamsaeidi noghabi, S., Khashei-Siuki, A., Hammami, H., shahidi, A., & Yaghoobzadeh, M. (2020). Determination of Evapotranspiration and Crop Coefficient of Saffron (*Crocus sativus* L.) by Lysimetric Method in the Dry- Desert Climate of Birjand. *Journal of Saffron Research*, 8(1), 161-172. [in Persian].
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. *Deep Learning*. MIT press, 2016.
- Hargreaves, G. H., (1994). Defining and using reference evapotranspiration. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 120(6), 1132-1139.
- Harmsen, E. W., Miller, N. L., Schlegel, N. J., & Gonzalez, J. E. (2009). Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agricultural water management*, 96(7), 1085-1095.
- Huth, R., (2002). Statistical downscaling of daily temperature in central Europe. *Journal of Climate*, 15(13), 1731-1742.
- (IPCC 2007) Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P. *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2007.
- (IPCC 2013) Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P.M. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2013.
- Jafarzadeh, A., Khashei-Siuki, A., & 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. [in Persian].
- Kafi, M., Koocheki, A., & Rashed, M. H. (2006). Saffron (*Crocus Sativus*): Production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad. [in Persian].
- Khashei Siuki, A., Shahidi, A., Behdani, M. A., Hjiabadi, F., & Shirzadi, F. (2020). Determination of Single and Dual Crop Coefficients of Saffron (*Crocus sativus* L.) in the First Year of cultivation. *Journal of Saffron Research*. [in Persian].
- Khashei Siuki, a., Shahidi, A., pourrezabilondi,

- m., Amirabadizadeh, m., & jafarzadeh, a. (2018). Performance Assessment of ANN and SVR for downscaling of daily rainfall in dry regions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(4), 781-793. [in Persian].
- Knox, J. W., Díaz, J. R., Nixon, D. J., & Mkhwanazi, M. (2010). A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in Swaziland. *Agricultural systems*, 103(2), 63-72.
- Koutroulis, A. G., Grillakis, M. G., Tsanis, I. K., & Papadimitriou, L. (2016). Evaluation of precipitation and temperature simulation performance of the CMIP3 and CMIP5 historical experiments. *Climate Dynamics*, 47(5), 1881-1898.
- Lashkari, A., Alizadeh, A., Rezaei, E. E., & Bannayan, M. (2012). Mitigation of climate change impacts on maize productivity in northeast of Iran: a simulation study. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 17(1), 1-16.
- Liu, X., Xu, C., Zhong, X., Li, Y., Yuan, X., & Cao, J. (2017). Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. *Agricultural water management*, 184, 145-155.
- Lovino, M. A., Pierrestegui, M. J., Müller, O. V., Berbery, E. H., Müller, G. V., & Pasten, M. (2021). Evaluation of historical CMIP6 model simulations and future projections of temperature and precipitation in Paraguay. *Climatic Change*, 164(3), 1-24.
- Maleki, F., Kazemi, H., Siahmargue, A., & Kamkar, B. (2019). Investigation of climatic factors of Azadshahr township (Golestan province) in order to development of saffron cropping. *Journal of Saffron Research*, 7(1), 123-143. [in Persian].
- McCabe Jr, G. J. & Wolock, D. M. (1992). sensitivity of irrigation demand in a humid-temperate region to hypothetical climatic change 1. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 28(3), 535-543.
- Ngoma, H., Wen, W., Ayugi, B., Babausmail, H., Karim, R., & Ongoma, V. (2021). Evaluation of precipitation simulations in CMIP6 models over Uganda. *International Journal of Climatology*, 41(9), 4743-4768.
- Pourmohamadi, s., Dastourani, m., Masahbavani, a., Rahimian, M. H., & Jafari, H. (2019). Evaluation of climate change impact on climate parameters in Tuyserkhan Catchment using general circulation models. *Water Resources Engineering*, 12(42), 142-153. [in Persian].
- Schlenker, W., Hanemann, W. M. & Fisher, A. C. (2007). Water availability, degree days, and the potential impact of climate change on irrigated agriculture in California. *Climatic Change*, 81(1), 19-38.
- Shepard, D., (1968). *A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data*. In Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference.
- Simonovic, S. P., Schardong, A., Sandink, D., & Srivastav, R. (2016). A web-based tool for the development of intensity duration frequency curves under changing climate. *Environmental modelling & software*, 81, 136-153.
- Smith, J. B., & Pitts, G. J. (1997). Regional climate change scenarios for vulnerability and adaptation assessments. *Climatic Change*, 36(1), 3-21.
- Woldemeskel, F. M., Sharma, A., Sivakumar, B., & Mehrotra, R. (2016). Quantification of precipitation and temperature uncertainties simulated by CMIP3 and CMIP5 models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(1), 3-17.
- Zamani, Y., Monfared, S. A. H., Azhdarimoghaddam, m., & Hamidianpour, M. (2020). A comparison of CMIP6 and CMIP5 projections for precipitation to observational data: the case of Northeastern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3), 1613-1623.

COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)





Original Article:

Saffron and Climate Change; Assessment of the Saffron Water Requirement Changes Using the Smart Algorithms

Yasin Zamani¹, Seyed Arman Hashemi Monfared^{2*}, Mehdi Azhdary Moghadam³,
Mohsen Hamidianpour⁴

1- PhD Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

3- Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

4- Associate Professor, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

* Corresponding author Email: hashemi@eng.usb.ac.ir

Received 25 July 2021; Accepted 16 October 2021

Abstract

This study investigates the effects of climate change on the water requirement of saffron in 13 regions of South Khorasan and Khorasan Razavi for three periods of 2030-2050, 2055-2075 and 2080-2100 using the Hybrid algorithms ANN-NSGA-II and ANN-ICA. For the first time, this research has obtained the water requirement of saffron based on climate change using the CMIP6 models and the scenarios of SSP245 and SSP585. In addition, for the first time, the main parameters of CMIP6 models have been calculated for the prediction of climatic variables. Statistical downscaling method and inverse distance weighting technique were used for downscaling and spatial interpolation of CMIP6 data, respectively. The ANN-NSGA-II model was used to select suitable parameters and the ANN-ICA model was used to predict the future of climatic variables and finally the Cropwat model was used to calculate the water requirement of saffron. The results of parameter selection showed that Hf1s and Hf5s parameters were selected for future prediction in 90% of cases. The mean percentage of precipitation decrease and increase of temperature of maximum and minimum were calculated for GFDL-CM4, MIROC6, and NorESM2-LM models (8.6, -1, 10), (10, 5.7, 8.7), and (6.6, 0.6, 9.1) in SSP245 scenario and (5.7, 5.6, 13), (12, 2.4, 11.6), and (8.2, 4.7, 3/17) in SSP585 scenario, respectively. The Water demand increased in 90% of stations, GCMs, and scenarios compared to the base period. The highest increase in water requirement was obtained in Golmakan for the MIROC6 model and the period of 2055-2075 with the amount of 87.1.

Keywords: Water requirement of saffron, Scenario, Downscaling, CMIP6.