

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی پایگاه‌های اقلیمی شبکه‌بندی شده در شبیه‌سازی متغیرهای آگروهیدرولوژیک در ایران

یعقوب رادمنش^۱، مهدی سرائی تبریزی^{۲*}، هادی رضوانی اعتدالی^۳، اصغر عزیزیان^۴ و حسین بابازاده^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰

چکیده

مدیریت منابع آب و افزایش بهره‌وری آن در ایران، به‌ویژه در بخش کشاورزی، به دلیل خشکسالی‌های مکرر و شرایط اقلیمی خاص، به چالشی حیاتی تبدیل شده است. این مطالعه به ارزیابی دقت پنج پایگاه اقلیمی جهانی شامل ERA-Interim، CRU TS، CPC Global، ERA5 و MERRA-2 در شبیه‌سازی متغیرهای آگروهیدرولوژیک با استفاده از مدل AquaCrop پرداخته است. با توجه به اقلیم‌های متنوع ایران و داده‌های محدود، نیاز به مدل‌های دقیق و پایگاه‌های اقلیمی معتبر برای بهبود مدیریت منابع آبی ضروری است. برای این منظور، داده‌های اقلیمی از پایگاه‌های مختلف و ایستگاه‌های سینوپتیک برای دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که پایگاه ERA5، به دلیل وضوح مکانی (۲۵/۰ × ۲۵ درجه) و زمانی بالاتر و داده‌های دقیق‌تر، بهترین عملکرد را در برآورد زیست‌توده، تبخیر و تعرق واقعی، نیاز آبی و عملکرد محصولات در اکثر اقلیم‌ها ارائه داده است. پایگاه CPC Global نیز در برخی شاخص‌ها، به‌ویژه در اقلیم‌های مدیترانه‌ای و خشک، دقت بالایی نشان داده، اما در برخی موارد نسبت به ERA5 کمتر موفق بوده است. پایگاه ERA-Interim عملکرد متوسطی داشت. از سوی دیگر، پایگاه‌های CRU TS و MERRA-2، به‌ویژه در اقلیم‌های مرطوب و بسیار مرطوب دقت کمتری نسبت به سایر پایگاه‌ها داشتند و به طور کلی برای شبیه‌سازی‌های دقیق توصیه نمی‌شوند. نتایج این تحقیق بر اهمیت انتخاب صحیح پایگاه داده‌های اقلیمی برای بهبود شبیه‌سازی‌های مدل‌های گیاهی و مدیریت منابع آب تأکید دارد.

کلمات کلیدی: مدل AquaCrop، داده‌های اقلیمی، بهره‌وری آب، شبیه‌سازی کشاورزی، ERA5

مقدمه

منابع آب و رشد روزافزون جمعیت، حفظ امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست به یک چالش جهانی تبدیل شده است. یکی از راهکارهای پیشنهادی برای این چالش، افزایش بهره‌وری آب در محصولات کشاورزی است (زند پارسا و همکاران، ۱۳۹۹). به همین منظور، بهبود شاخص کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency) که بر تولید بیشتر به ازای هر واحد آب مصرفی تأکید دارد، از اهمیت زیادی برخوردار است. مدل‌های شبیه‌سازی به دلیل توانایی‌شان در ارائه تأثیرات کیفی و کمی آب بر عملکرد محصولات، ابزارهای ارزشمندی برای بهبود مدیریت مصرف آب در مزارع و افزایش بهره‌وری آب هستند (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲؛ مهرآذر و همکاران، ۱۳۹۵). مدل‌سازی و پیش‌بینی عملکرد گیاهان به عوامل متعددی بستگی دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به عوامل اقلیمی همچون بارش و دما اشاره کرد. در این راستا، مدل‌های زراعی با استفاده از داده‌های اقلیمی، مدیریتی و زراعی می‌توانند میزان عملکرد و اجزای عملکرد را شبیه‌سازی کنند. بنابراین، مدل‌های زراعی فرآیندمحور یا آماری می‌توانند برای تعیین واکنش عملکرد به این رویدادها و

به دلیل شرایط خاص اقلیمی ایران و بروز خشکسالی‌های مکرر و شدید، مدیریت مصرف و افزایش بهره‌وری آب به‌ویژه در بخش کشاورزی که بیشترین سهم از مصرف منابع آبی را به خود اختصاص می‌دهد، امری بسیار ضروری و حیاتی است. با توجه به محدودیت

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
 - ۲- عضو هیات علمی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
 - ۳- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
 - ۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
 - ۵- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- *- نویسنده مسئول:
(m.sarai@iau.ac.ir)

بارش از پایگاه‌های ERA5 و HRCLDAS را در چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که HRCLDAS به دلیل جزئیات دقیق‌تر و خطای کمتر نسبت به ERA5، عملکرد بهتری دارد. این پایگاه داده با خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) $1/3$ درجه سانتی‌گراد دما و $2/4$ میلی‌متر برای بارش، دقت بالاتری در بازنمایی پدیده‌های جوی مهم ارائه می‌دهد. Blankenau و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به ارزیابی کیفیت شش مجموعه داده هواشناسی شبکه‌بندی شده (GLDAS-2، NLDAS-2، CFSv2، GRIDMET، RTMA و NDFD) برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (ET_{ref}) پرداختند. نتایج نشان داد که این داده‌ها معمولاً ET_{ref} را بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد می‌کنند، که عمدتاً ناشی از برآورد بیش از حد دما، تابش موج کوتاه، و سرعت باد است. داده‌های RTMA بهترین عملکرد را نشان دادند، در حالی که داده‌های NLDAS برای اکثر متغیرها ضعیف‌ترین عملکرد را داشتند. Chen و همکاران (۲۰۲۳) مدلی با وضوح بالا برای پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی در سیستم‌های بیابانی-واحه‌ای توسعه داده‌اند. این مدل با استفاده از داده‌های NDVI از ماهواره Sentinel-2 برای تخمین زمان رشد، داده‌های رطوبت خاک از ASCAT برای پیش‌تنش آبی، و داده‌های دمای سطح زمین از MODIS برای نقشه‌برداری از تنش دمایی طراحی شده است. این مدل برای محصولات غالب در چین مانند گندم، ذرت، آفتابگردان، و خربزه به کار گرفته شد و نتایج آن دقت بالایی را در مقایسه با داده‌های سرشماری کشاورزی نشان داد. Pelosi و همکاران (۲۰۲۲) مقاله‌ای درباره ارزیابی نیاز آبی و عملکرد محصولات کشاورزی با ترکیب داده‌های ERA5-Land، CM-SAF و تصاویری از Sentinel-2 منتشر کرده‌اند. در این تحقیق، مدل AquaCrop برای بررسی نیاز آبی و عملکرد گوجه‌فرنگی در جنوب ایتالیا استفاده شد و نتایج نشان داد که ادغام داده‌های ماهواره‌ای با مدل‌های رشد گیاه، دقت تخمین نیاز آبی و عملکرد محصول را به‌طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد. این پژوهش با استفاده از داده‌های اقلیمی شبکه‌بندی شده، به‌عنوان جایگزینی برای داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، رویکردی نوین در شبیه‌سازی رشد گیاهان ارائه داده است. این داده‌ها با جبران محدودیت‌های ایستگاه‌های زمینی، مانند تراکم کم و داده‌های ناقص، پیش‌تر عمدتاً در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی به کار رفته‌اند ولی در این تحقیق برای شبیه‌سازی رشد گیاهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مطالعه، با توجه به اهمیت داشتن اطلاعات اقلیمی قابل اعتماد برای ارزیابی متغیرهای آگرو-هیدرولوژیکی با مدل AquaCrop، دقت پایگاه‌های مختلف اقلیمی شامل CPC Global، MERRA-2، ERA5، ERA-Interim، CRU TS و غیرمستقیم مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. این ارزیابی از طریق تحلیل خروجی‌های شبیه‌سازی شده مدل AquaCrop با بهره‌گیری از داده‌های این پایگاه‌ها و ایستگاه‌های سینوپتیک انجام خواهد شد.

تغییرات آب و هوایی آینده به کار گرفته شوند. با این حال، دقت روابط عملکرد-آب و هوا حاصل از مدل‌های زراعی، اعم از آماری یا مبتنی بر فرآیند، به کیفیت داده‌های ورودی اصلی مورد استفاده برای اجرای این مدل‌ها بستگی دارد (Parkes et al., 2019).

مدل AquaCrop، یک مدل شبیه‌سازی گیاه-بهره‌وری آب زراعی است که توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) توسعه یافته است و داده‌های اقلیمی از ورودی‌های اصلی آن محسوب می‌شوند (FAO, 2021). در این زمینه، چالش اصلی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، فقدان مجموعه داده‌های هواشناسی قابل دسترس و قابل اطمینان است (Kephe et al., 2021). استفاده از داده‌های اقلیمی مشاهده‌ای مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی زمینی، به دلیل تراکم پایین ایستگاه‌ها و طول کوتاه دوره آماری، محدودیت‌هایی را برای استفاده از این داده‌ها ایجاد کرده است (میری و همکاران، ۱۳۹۶). این محدودیت‌ها می‌توانند دقت مدل‌های گیاهی مانند مدل AquaCrop را تحت تأثیر قرار دهند.

پایگاه‌های اقلیمی شبکه‌ای جهانی، که از ترکیب داده‌های اندازه‌گیری در محل، سنجش از دور و مدل‌های آب و هوایی به دست آمده‌اند، راه‌حلی مناسب برای جبران این محدودیت‌ها و پر کردن خلأهای موجود ارائه می‌دهند. این پایگاه‌های داده‌ای، حجم قابل توجهی از داده‌های اقلیمی را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی متفاوت در اختیار کاربران قرار می‌دهند. با این حال، این مجموعه داده‌های مرجع نیز به دلیل احتمال وجود خطا در برآورد داده‌ها، شامل سوگیری‌های مهم و چالش‌های پیش‌بینی‌پذیری هستند. بنابراین، استفاده از داده‌های اقلیمی این پایگاه‌ها در مدل‌سازی گیاهی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی نیازمند ارزیابی دقیق است. در این مطالعه، داده‌های اقلیمی پایگاه‌های شبکه‌ای به صورت غیرمستقیم از طریق شبیه‌سازی متغیرهای آگروهیدرولوژیک (مانند عملکرد، بیومس، تبخیر و تعرق واقعی، و نیاز آبی گیاه) با استفاده از مدل AquaCrop ارزیابی خواهند شد. این شبیه‌سازی با داده‌های پایگاه‌های اقلیمی شبکه‌ای انجام شده و سپس مقادیر شبیه‌سازی شده با داده‌های اقلیمی ایستگاه‌ها و پایگاه‌های داده‌ای مقایسه خواهد شد. مطالعات متعددی در زمینه استفاده از داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی در شبیه‌سازی متغیرهای آگروهیدرولوژیک انجام شده است. Eini و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر داده‌های رطوبت خاک مبتنی بر ماهواره‌ی پایگاه CCI SM بر دقت مدل‌سازی آگروهیدرولوژیک مدل SWAT+ در حوضه رودخانه Odra در منطقه دریای بالتیک پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از داده‌های مبتنی بر ماهواره قادر است دقت پیش‌بینی‌های مدل‌های آگروهیدرولوژیک را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد و شکاف‌های موجود در داده‌های اندازه‌گیری‌های زمینی را جبران کند. Wang و همکاران (۲۰۲۰) دقت داده‌های جوی دما و

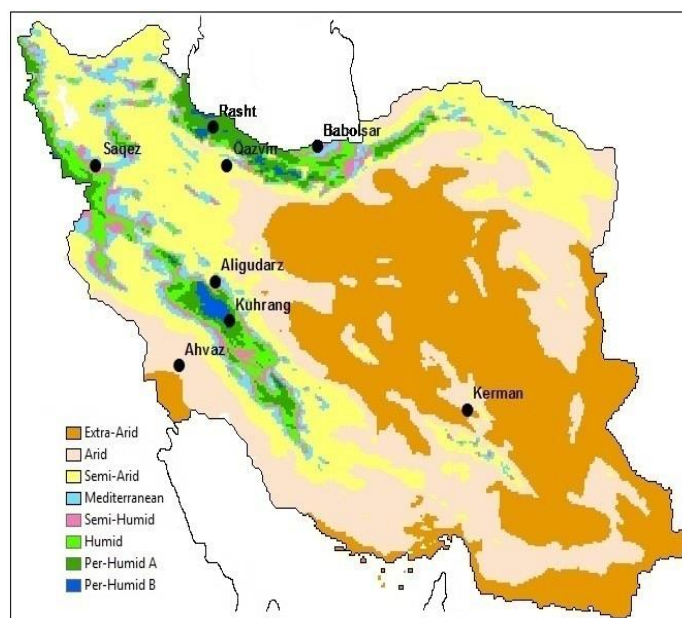
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

ایران با وسعت ۱/۶ میلیون کیلومتر مربع، در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی قرار دارد و به دریای خزر در شمال و خلیج فارس و دریای عمان در جنوب دسترسی دارد. طبق داده‌های ارائه شده توسط پرتال دانش تغییرات اقلیمی بانک جهانی (۲۰۲۴)، میانگین دمای سالانه ایران ۱۸/۳۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه آن ۲۱۹ میلی‌متر است. بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن گسترش‌یافته جاماب خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب، خیلی مرطوب نوع A و خیلی مرطوب نوع B تقسیم می‌شود.

ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب

در این مطالعه به منظور مقایسه و ارزیابی دقت داده‌های اقلیمی پایگاه‌های منتخب به صورت غیرمستقیم از طریق شبیه‌سازی متغیرهای اگروهیدرولوژیک مانند عملکرد، بیومس، تبخیر و تعرق واقعی، و نیاز آبی محصولات ذرت و گندم، تعداد ۸ ایستگاه سینوپتیک در کشور انتخاب شد که هر کدام نماینده یک طبقه اقلیمی مختلف هستند و داده‌های آماری ۳۰ ساله دارند. این ایستگاه‌ها شامل کرمان، اهواز، قزوین، الیگودرز، سقز، بابلسر، رشت و کوه‌رنگ بوده و به ترتیب نماینده اقلیم‌های فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب، خیلی مرطوب نوع A و خیلی مرطوب نوع B هستند (شکل ۱). داده‌های مورد نیاز برای این تحقیق شامل بارش ماهانه، دماهای حداقل و حداکثر، دمای نقطه شبنم و تابش، برای دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ از سایت سازمان هواشناسی کشور استخراج شد.



شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در اقلیم‌های مختلف ایران

پایگاه‌های اقلیمی شبکه‌بندی شده

در این مطالعه از پایگاه‌هایی استفاده می‌شود که داده‌های اقلیمی لازم برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و شبیه‌سازی با مدل Aquacrop مانند بارش و دما، تابش، رطوبت و سرعت باد را فراهم می‌آورند و پوشش زمانی و مکانی مناسبی دارند که در ادامه مشخصات آن‌ها آمده است.

پایگاه CRU TS4.05

پایگاه CRU TS نسخه 4.05 جزء پایگاه‌های مبتنی بر

پایگاه CPC Global Unified

مرکز پیش‌بینی اقلیم (CPC) (Chen et al., 2008)، که جزو

اندازه‌گیری است که داده‌های سری زمانی تغییرات ماهانه اقلیمی از سال ۱۹۰۱ تا ۲۰۲۰ را با تفکیک بالا (۵/۵×۰/۵ درجه) ارائه می‌دهد. این داده‌ها توسط CRU در دانشگاه East Anglia و با حمایت مرکز ملی علوم جوی بریتانیا تولید شده‌اند و شامل متغیرهایی چون پوشش ابر، دمای روزانه و بارش هستند. اطلاعات بیشتر درباره‌ی این پایگاه در مطالعه Harris و همکاران (۲۰۲۰) آمده است.

MERRA- و ERA5, ERA-Interim, CRU TS, CPC Global 2 برای دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ دریافت و جمع‌آوری شدند. این داده‌ها با تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه (در مورد پایگاه ERA5 با تفکیک 0.25×0.25 درجه) از پایگاه‌های منتخب به فرمت NetCDF دریافت شده و برای ایستگاه‌های موردنظر استخراج گردیدند. همچنین، داده‌های ساعتی و روزانه به مقیاس ماهانه تبدیل شدند. در این تحقیق، تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) با استفاده از نرم‌افزار ET₀ Calculator نسخه 3.2 (FAO, 2012) و بر اساس معادله پنمن-مانیت فائو برای ایستگاه‌های منتخب در دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ محاسبه شد.

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop که توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) توسعه یافته است، برای شبیه‌سازی رشد گیاهان با استفاده از داده‌های اقلیمی طولانی‌مدت طراحی شده است (Singh, 2004). مدل AquaCrop بر اساس معادله Doorenbos و Kassam (۱۹۷۹) (معادله ۱) با اصلاحاتی مانند تفکیک تبخیر-تعرق به تبخیر از خاک (E_s) و تعرق (T_c) و تبدیل عملکرد به ماده خشک و شاخص برداشت (HI) شکل گرفته است (Raes et al., 2012). معادله نشان‌دهنده رابطه بین کاهش تبخیر-تعرق و افت عملکرد است.

$$\left[1 - \frac{ET}{ET_x}\right] = K_y \left[1 - \frac{Y}{Y_x}\right] \quad (1)$$

داده‌های ورودی مدل AquaCrop شامل چهار دسته است: اقلیمی (بارش، دما، ET_0 ، و غلظت CO_2)، گیاهی (فنولوژی، تعرق، زیست‌توده، و عملکرد محصول)، خاک (بافت، رطوبت، و هدایت هیدرولیکی)، و مدیریت مزرعه (آبیاری و اقدامات کاهش تبخیر). غلظت CO_2 بر اساس داده‌های رصدخانه Mauna Loa استفاده شده است (Raes et al., 2017).

در این پژوهش، داده‌های اقلیمی از پایگاه‌های CPC Global, ERA5, ERA-Interim, CRU TS و MERRA-2 برای دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ جمع‌آوری و به مقیاس ماهانه تبدیل شدند. تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) با نرم‌افزار ET₀ Calculator محاسبه و سپس داده‌های اقلیمی وارد نرم‌افزار AquaCrop شدند.

شاخص‌های ارزیابی

در این تحقیق، دقت پایگاه‌های CPC Global, CRU TS, ERA5, ERA-Interim و MERRA-2 با استفاده از مدل AquaCrop و شاخص‌های آماری مختلف بررسی شد. ضریب همبستگی (R_2) میزان تطابق داده‌های مدل با داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است، به طوری که

پایگاه‌های مبتنی بر اندازه‌گیری است، داده‌های بارش روزانه جهانی با وضوح 0.5 درجه از سال ۱۹۷۹ تا کنون ارائه می‌دهد. این داده‌ها از طریق ادغام اطلاعات باران‌سنج‌های درجا، برآوردهای ماهواره‌ای با تکنیک CMORPH و مدل‌سازی عددی NOAA به دست آمده‌اند. داده‌های بارش و دما با تفکیک 0.5×0.5 برای دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ برای ایستگاه‌های مورد نظر دریافت و استخراج گردید.

پایگاه ERA-Interim

پایگاه ERA-Interim یکی از محصولات مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی اروپا (ECMWF) می‌باشد. ERA-Interim یک پایگاه بازتحلیل شده است که داده‌های اقلیمی از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹ را با تفکیک‌های مختلف زمانی (ساعتی، روزانه و ماهانه) و مکانی (0.25×0.25 تا 3.0×3.0) ارائه می‌دهد. این داده‌ها شامل بارش، دما و سایر متغیرهای اقلیمی هستند و اطلاعات بیشتر در گزارش Dee و همکاران (۲۰۱۱) موجود است.

پایگاه ERA5

پایگاه ERA5 نسخه پنجم بازتحلیل ECMWF، داده‌های ساعتی از متغیرهای جوی، زمینی و اقیانوسی با تفکیک 0.25×0.25 درجه از ۱۹۴۰ تا کنون ارائه می‌دهد و به طور روزانه با تأخیر حدود ۵ روز به روزرسانی می‌شود. داده‌ها در شبکه منظم با تفکیک 0.25 درجه برای بازتحلیل و 0.5 درجه برای تخمین عدم قطعیت قابل دسترسی است. داده‌های ماهانه و ساعتی به صورت GRIB ارائه شده و به راحتی از طریق اینترنت در دسترس است. اطلاعات بیشتر در مورد این پایگاه در گزارش Hersbach و همکاران (۲۰۲۳) آمده است.

پایگاه MERRA-2

پایگاه MERRA-2، یک مدل بازتحلیل جوی جهانی تولیدشده توسط دفتر مدل‌سازی و جذب جهانی ناسا (GMAO) در سال ۲۰۱۷ است. این مدل از سال ۱۹۸۰ با بروزسانی‌های مداوم، داده‌ها را با وضوح مکانی 0.5×0.25 درجه و وضوح زمانی ساعتی ارائه می‌دهد. هدف MERRA-2 ارائه رکوردی منظم و همگن از جو، سیستم آب‌وهوا، سطح زمین و فرآیندهای کربنوسفری است. این مدل برای شبیه‌سازی اُتروسل‌ها طراحی شده و نسبت به نسخه قبلی پیشرفت‌هایی دارد، از جمله شبیه‌سازی تابش فراطیفی و استفاده از داده‌های جدید مانند مشاهدات پروفایل اوزون و رادیویی - GPS. جزئیات بیشتر در گزارش Gelaro و همکاران (۲۰۱۷) آمده است. به‌منظور مقایسه غیرمستقیم پایگاه‌های اقلیمی، داده‌های دما، بارش، سرعت باد، تابش و دمای نقطه شبنم از سایت سازمان هواشناسی برای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب و از پایگاه‌های

زیست‌توده ذرت

نتایج ارزیابی داده‌های زیست‌توده ذرت برآوردشده با داده‌های اقلیمی پایگاه‌های مختلف برای ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول ۱ آمده است. بر اساس شاخص R^2 ، بیشترین همبستگی با پایگاه ERA5 در ایستگاه رشت (۰/۹۶۵) و کمترین همبستگی با پایگاه ERA5 در ایستگاه کرمان (۰/۴۳۵) مشاهده شد (شکل ۱). پایگاه ERA5 با بیشترین همبستگی در ۴ از ۸ ایستگاه عملکرد بهتری دارد و اهمیت دقت بالای پایگاه‌های داده را نشان می‌دهد. همبستگی بالاتر ERA5 به دلیل تفکیک مکانی بالای آن (۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه) است، که با نتایج مطالعات دیگر نیز همخوانی دارد (Kumar et al., 2016; Chen et al., 2021). بر اساس شاخص RMSE، پایگاه CPC Global در ایستگاه رشت (۰/۰۴۷) و پایگاه MERRA-2 در ایستگاه قزوین (۰/۶۹۳) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را دارند، که نشان‌دهنده تأثیر شرایط اقلیمی بر عملکرد پایگاه‌هاست. پایگاه‌های ERA5، ERA-interim و CRU با دقت بالاتر در ۲ از ۸ ایستگاه عملکرد بهتری دارند. در شاخص MAE، پایگاه CPC Global در ایستگاه رشت (۰/۰۳۸) و MERRA-2 در ایستگاه قزوین (۰/۶۰۸) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت پیش‌بینی را دارند. به طور کلی، ERA5 با کمترین خطا در ۳ از ۸ ایستگاه عملکرد برتری دارد. همچنین، در شاخص MBE، پایگاه CPC Global در ایستگاه رشت (۰/۰۰۵) بهترین عملکرد را دارد. به طور کلی، ERA5 و CPC Global با عملکرد برتر در ۳ از ۸ ایستگاه موفق‌تر هستند. بنابراین، دقت پایگاه ERA5 در برآورد زیست‌توده ذرت از سایر پایگاه‌ها بالاتر است. پایگاه ERA5 با تفکیک مکانی بالا، دقت بیشتر، روزرسانی منظم، تصحیحات پیشرفته و همخوانی بهتر با شرایط محلی، عملکرد بهتری در برآورد زیست‌توده ذرت داشته و موجب بهبود همبستگی و کاهش خطا شده است.

مقدار ایده‌آل برابر با یک است. همچنین، از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) برای سنجش اختلاف داده‌های مدل و مشاهدات استفاده شد و مقادیر نزدیک‌تر به صفر نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل است. میانگین خطای مطلق (MAE) نیز محاسبه شد که نشان‌دهنده میانگین قدر مطلق اختلافات داده‌های مدل و مشاهدات است، که مقادیر کمتر آن به معنای دقت بیشتر مدل است. در نهایت، از میانگین خطای اریبی (MBE) برای ارزیابی میانگین اختلاف داده‌های مدل و مشاهدات استفاده شد. مقادیر منفی یا مثبت MBE بیانگر کم‌تخمینی یا بیش‌تخمینی مدل بوده و مقدار ایده‌آل آن برابر صفر است.

فرمول‌های مربوط به این شاخص‌ها به شرح زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (M_i - O_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_1^N (O_i - O_{avg})(M_i - M_{avg})}{\sqrt{\sum_1^N (O_i - O_{avg})^2} \sqrt{\sum_1^N (M_i - M_{avg})^2}} \right]^2 \quad (3)$$

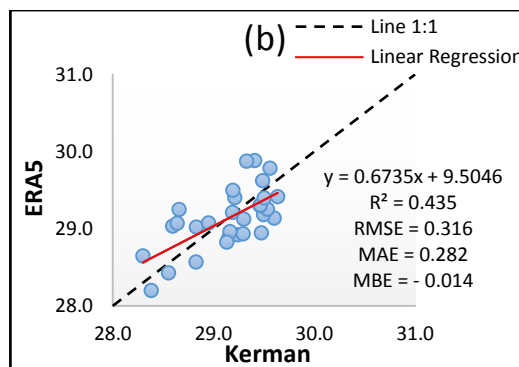
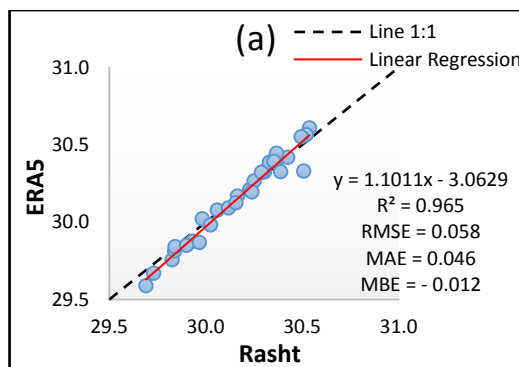
$$MBE = \frac{\sum_1^N (M_i - O_i)}{N} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - M_i| \quad (5)$$

در این روابط، N تعداد داده‌ها، i روز، O_i داده‌های مشاهداتی، M_i داده‌های پایگاه‌ها، O_{avg} متوسط داده‌های مشاهداتی و M_{avg} متوسط داده‌های پایگاه‌ها است.

نتایج و بحث

در این تحقیق، داده‌های پایگاه‌های اقلیمی شبکه‌بندی شده با داده‌های ایستگاه‌های زمینی به صورت غیرمستقیم و از طریق شبیه‌سازی متغیرهای آگروهیدرولوژیک شامل زیست‌توده (Biomass)، تبخیر و تعرق واقعی (ET_{actual})، نیاز آبی (Net irrigation requirement) و عملکرد (Yield) ذرت و گندم با استفاده از مدل AquaCrop مقایسه شدند.



شکل ۱- نمودار پراکندگی مربوط به بیشترین (a) و کمترین (b) همبستگی بین زیست‌توده ذرت پایگاه‌ها و ایستگاه‌ها

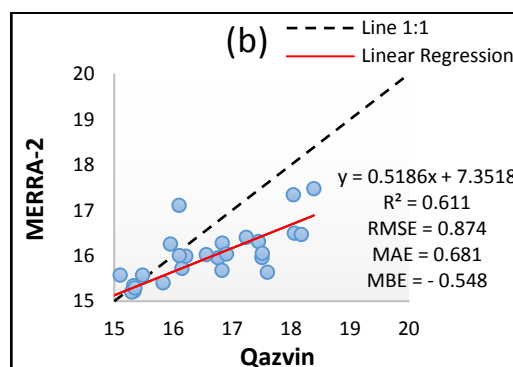
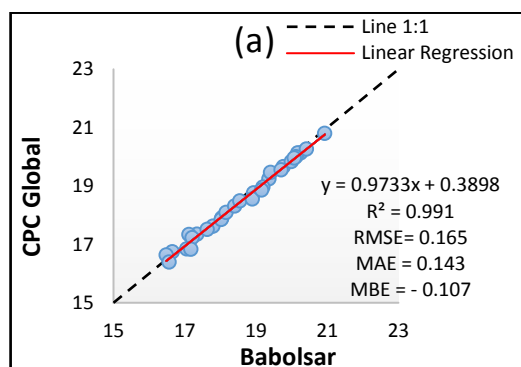
زیست‌توده گندم

نتایج ارزیابی داده‌های زیست‌توده گندم برآورد شده با داده‌های اقلیمی پایگاه‌های مختلف برای ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول ۱ آمده است. بر اساس شاخص R^2 ، بیشترین همبستگی بین داده‌های زیست‌توده گندم برآوردشده با پایگاه CPC Global و ایستگاه بابلسر (۰/۹۹۱) و کمترین همبستگی با پایگاه MERRA-2 و ایستگاه قزوین (۰/۶۱۱) مشاهده شد (شکل ۲). پایگاه CPC Global با بیشترین همبستگی (۴ از ۸ ایستگاه)، عملکرد بهتری دارد. از نظر شاخص RMSE، داده‌های برآوردشده با پایگاه CRU در ایستگاه اهواز (۰/۱۵۸) و با پایگاه ERA-interim در ایستگاه بابلسر (۱/۷۸۵) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را دارند. به طور کلی، پایگاه CPC Global با بیشترین دقت در شبیه‌سازی (۶ از ۸ ایستگاه) برتری دارد. همچنین، از نظر MAE، داده‌های برآوردشده با پایگاه CRU در اهواز (۰/۱۲۸) و با پایگاه ERA-interim در بابلسر (۱/۶۳۸) به ترتیب کمترین و کمترین دقت را دارند. در کل، پایگاه CPC Global با کمترین خطا در پیش‌بینی مدل (۶ از ۸ ایستگاه) عملکرد بهتری دارد. شاخص MBE نیز نشان می‌دهد که داده‌های برآوردشده با پایگاه CRU در اهواز (۰/۰۰۵) بهترین عملکرد را دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که در اقلیم‌های مدیترانه‌ای، فراخشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب، همه پایگاه‌ها زیست‌توده گندم را بیش تخمین می‌زنند. این موضوع می‌تواند به دلیل محدودیت‌های داده‌های اقلیمی در این اقلیم‌ها باشد که نیاز به اصلاحات در مدل‌ها را برجسته می‌کند. به طور کلی، پایگاه CPC Global با عملکرد برتر در شاخص‌های ارزیابی، دقیق‌ترین برآوردها را ارائه می‌دهد و به نظر می‌رسد گزینه بهتری برای ارزیابی زیست‌توده گندم در شرایط مختلف اقلیمی است. نتایج این پژوهش با یافته‌های کلی Andraos (۲۰۲۴) سازگار است، که نشان داده است کیفیت داده‌های ورودی نقش کلیدی در کاهش عدم قطعیت مدل‌سازی و بهبود پیش‌بینی‌ها ایفا می‌کند. بنابراین، دقت

داده‌های ورودی اقلیمی می‌تواند یکی از عوامل تأثیرگذار بر دقت برآوردهای مدل AquaCrop باشد.

تبخیر و تعرق واقعی ذرت

نتایج ارزیابی داده‌های تبخیر و تعرق ذرت با داده‌های اقلیمی پایگاه‌های مختلف برای ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس شاخص R^2 ، بیشترین همبستگی بین داده‌های برآوردشده با پایگاه ERA5 و ایستگاه بابلسر (۰/۶۳۸) مشاهده می‌شود، در حالی که همبستگی داده‌های پایگاه ERA-interim در ایستگاه‌های اهواز و کرمان و پایگاه CPC Global در ایستگاه سقز صفر است (شکل ۳). این تفاوت ممکن است به دقت و تفکیک مکانی متفاوت پایگاه‌ها نسبت داده شود. بررسی‌ها نشان می‌دهند که داده‌های ERA5 با بهبودهای قابل توجه در وضوح فضایی و زمانی، نسبت به ERA-Interim در شبیه‌سازی‌ها برتری دارد (Hoffmann et al., 2019). داده‌های تبخیر و تعرق برآوردشده با پایگاه‌های ERA5 و MERRA-2 در ۳ از ۸ ایستگاه همبستگی بهتری دارند، ولی همبستگی کلی پایین است که ممکن است به تنوع اقلیمی و کمبود داده‌های دقیق مربوط باشد. بر اساس شاخص RMSE، داده‌های برآوردشده با پایگاه CPC Global در ایستگاه بابلسر (۲۶/۴۵۸) و با پایگاه MERRA-2 در ایستگاه اهواز (۵۰۷/۲۲۳) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را دارند، که به دقت مدل‌ها و کیفیت داده‌های ورودی می‌تواند مرتبط باشد. پایگاه CPC Global با دقت بیشتر در ۳ از ۸ ایستگاه عملکرد بهتری دارد. در شاخص MAE، داده‌های برآوردشده با پایگاه CPC Global در ایستگاه بابلسر (۱۹/۵۶۷) و با پایگاه MERRA-2 در ایستگاه اهواز (۴۹۵/۷۶۷) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت پیش‌بینی را دارند. شاخص MBE نشان می‌دهد که داده‌های برآوردشده با پایگاه ERA-interim در ایستگاه بابلسر (۳/۶۳۳) بهترین عملکرد را دارند.



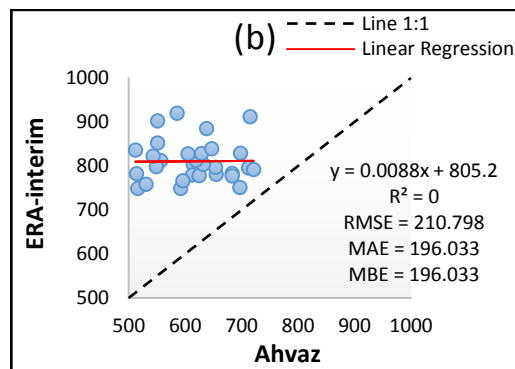
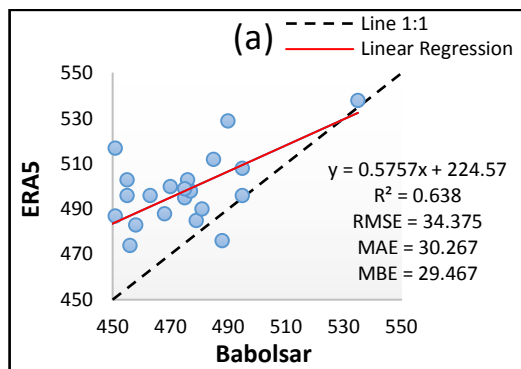
شکل ۲- نمودار پراکنندگی مربوط به بیشترین (a) و کمترین (b) همبستگی بین زیست‌توده گندم پایگاه‌ها و ایستگاه‌ها

جدول ۱- ارزیابی داده‌های زیست‌توده ذرت و گندم برآوردشده با پایگاه‌ها با داده‌های مشاهداتی ۱۹۸۹-۲۰۱۹

گندم					ذرت					زیست‌توده
MERRA-2	ERA5	ERA-interim	CRU	CPC GLOBAL	MERRA-2	ERA5	ERA-interim	CRU	CPC GLOBAL	
R ²										
۰/۹۰۸	۰/۹۲۷	۰/۸۵۶	۰/۹۳۸	۰/۸۷	۰/۷۸۶	۰/۷۷۴	۰/۷۷۱	۰/۷۸۸	۰/۴۵۹	اهواز
۰/۸۹۹	۰/۸۲۱	۰/۸۱۴	۰/۸۷۵	۰/۸۹۲	۰/۵۹۵	۰/۶۵۴	۰/۶۳۶	۰/۶۲۳	۰/۵۴۶	الیگودرز
۰/۹۳۹	۰/۹۷۴	۰/۶۴۹	۰/۸۵۳	۰/۹۹۱	۰/۷۹۸	۰/۹۵۵	۰/۸۸۷	۰/۸۳۹	۰/۹۲۴	بابلسر
۰/۸۳۷	۰/۸۶۱	۰/۸۶۵	۰/۸۳۵	۰/۹۴۳	۰/۷۷۹	۰/۴۳۵	۰/۴۵۶	۰/۶۶۳	۰/۷۶۹	کرمان
۰/۸۸۹	۰/۸۷۲	۰/۷۹	۰/۸۵۹	۰/۷۷۲	۰/۷۹۲	۰/۸۳۹	۰/۷۵۵	۰/۸۵۷	۰/۶۳۵	کوه‌رنگ
۰/۶۱۱	۰/۸۹۹	۰/۸۱۷	۰/۹۱۳	۰/۹۶۶	۰/۶۲۱	۰/۹۵۱	۰/۷۳	۰/۹۲۲	۰/۸۸۱	قزوین
۰/۹۳۹	۰/۹۴۸	۰/۸۳۵	۰/۸۳۳	۰/۹۷۶	۰/۹۲۸	۰/۹۶۵	۰/۹۲۴	۰/۸۷۹	۰/۹۶۵	رشت
۰/۸۷۳	۰/۹۳	۰/۸۹۱	۰/۹۴۱	۰/۷۶۹	۰/۵۵۶	۰/۸۰۸	۰/۸۸	۰/۸۷۳	۰/۵۲۳	سقز
RMSE										
۰/۳۱۹	۰/۱۶۲	۰/۴۱۹	۰/۱۵۸	۰/۳۲	۰/۲۰۷	۰/۲۵۴	۰/۲۵۶	۰/۳۲۴	۰/۵۱	اهواز
۰/۶۶۶	۰/۷۱۴	۰/۹۷۳	۰/۶۵	۰/۵۶۷	۰/۴۹۱	۰/۲۳۹	۰/۳۰۵	۰/۴۱۹	۰/۴۰۱	الیگودرز
۰/۷۳۸	۰/۴۲۸	۱/۷۸۵	۱/۰۶۵	۰/۱۶۵	۰/۴۷۸	۰/۰۶۱	۰/۱۱۸	۰/۲۳۷	۰/۱۱۲	بابلسر
۰/۶۴۹	۰/۶۷۱	۰/۹۳۷	۰/۶۴۴	۰/۲۹	۰/۴۶	۰/۳۱۶	۰/۳۱۳	۰/۳۷۵	۰/۴۵۱	کرمان
۰/۴۳۶	۱/۲۳۴	۰/۵۱۸	۰/۴۶۳	۰/۴۹۲	۰/۳۹۵	۰/۶۱۷	۰/۲۵	۰/۱۸۳	۰/۲۴۸	کوه‌رنگ
۰/۸۷۴	۰/۷۵۸	۰/۵۴۵	۰/۸۷۱	۰/۳۰۳	۰/۶۹۳	۰/۱۱۶	۰/۲۵۱	۰/۰۸۷	۰/۱	قزوین
۰/۸۵	۰/۴۳۸	۱/۰۸۷	۰/۸۴۲	۰/۳۶۹	۰/۳۵۱	۰/۰۵۸	۰/۱۶۷	۰/۳۵۶	۰/۰۴۷	رشت
۱/۲۴۱	۱/۰۴۲	۱/۲۹۸	۰/۹۹۵	۰/۷۲	۰/۴۲۲	۰/۲۷۱	۰/۲۶۸	۰/۴۱	۰/۴۲۹	سقز
MAE										
۰/۲۵۸	۰/۱۳۴	۰/۳۶	۰/۱۲۸	۰/۱۸۷	۰/۱۶۱	۰/۱۷۲	۰/۱۷۴	۰/۲۶۹	۰/۴۵	اهواز
۰/۵۷۴	۰/۵۴۷	۰/۸۵۳	۰/۵۲۱	۰/۴۶	۰/۴۲۵	۰/۱۹۲	۰/۲۵۵	۰/۳۶۶	۰/۳۵۶	الیگودرز
۰/۶۳	۰/۳۴۶	۱/۶۳۸	۰/۹۴۴	۰/۱۴۳	۰/۴۵۹	۰/۰۴۴	۰/۰۸۳	۰/۲۰۱	۰/۰۹	بابلسر
۰/۵۶۸	۰/۵۴۴	۰/۸۷۹	۰/۵۳۵	۰/۲۰۸	۰/۴۱۸	۰/۲۸۲	۰/۲۶۶	۰/۲۹۴	۰/۴۰۶	کرمان
۰/۳۵۵	۱/۱۴۲	۰/۴۲۳	۰/۳۷۴	۰/۴۱	۰/۳۴۱	۰/۵۳۶	۰/۱۷۸	۰/۱۴۳	۰/۲۰۳	کوه‌رنگ
۰/۶۸۱	۰/۶۸۴	۰/۴۰۷	۰/۷۹۸	۰/۲۵	۰/۶۰۸	۰/۰۹۸	۰/۱۷۴	۰/۰۶۹	۰/۰۸۲	قزوین
۰/۷۴۴	۰/۳۴۱	۰/۸۹۹	۰/۷۵۶	۰/۲۷۷	۰/۳۴۴	۰/۰۴۶	۰/۱۴۸	۰/۳۴۱	۰/۰۲۸	رشت
۱/۲۰۲	۱/۰۰۸	۱/۲۶۷	۰/۹۷۳	۰/۵۱	۰/۳۳۸	۰/۲۰۳	۰/۲۲۱	۰/۳۷۸	۰/۳۱۸	سقز
MBE										
۰/۱۷۱	-۰/۰۲۴	۰/۳۵	۰/۰۰۵	-۰/۱۸۷	-۰/۰۸۸	-۰/۱۵۸	-۰/۱۶۴	۰/۲۵۳	۰/۴۱۶	اهواز
-۰/۵۷۴	-۰/۵۴۶	-۰/۸۵۳	-۰/۵۰۱	-۰/۴۴۸	-۰/۴۱۶	۰/۱۵	۰/۲۳۵	۰/۳۶۵	۰/۳۴۵	الیگودرز
-۰/۶۳	۰/۳۴	-۱/۵۹۸	-۰/۹۳۱	-۰/۱۰۷	-۰/۴۵۹	-۰/۰۲۳	۰/۰۱	-۰/۲۰۱	۰/۰۸۴	بابلسر
-۰/۵۴۲	-۰/۵۴	-۰/۸۷۱	-۰/۵۳۵	-۰/۱۶۶	-۰/۴۱۸	-۰/۰۱۴	-۰/۱۱۵	-۰/۱۲۸	۰/۴۰۴	کرمان
-۰/۲۳۷	-۱/۱۴۲	-۰/۲۳۷	-۰/۱۸۲	۰/۰۸۶	-۰/۳۴	-۰/۵۳۳	۰/۱۲۸	۰/۰۹۵	۰/۰۱۵	کوه‌رنگ
-۰/۵۴۸	-۰/۶۷۷	-۰/۲۹۲	-۰/۷۹۸	-۰/۲۲۹	-۰/۶۰۸	-۰/۰۹۳	-۰/۰۸۱	۰/۰۲۷	-۰/۰۱۱	قزوین
۰/۷۱۸	-۰/۱۰۶	-۰/۸۴۶	-۰/۴۲۴	۰/۲۵۸	-۰/۳۴۴	-۰/۰۱۲	-۰/۱۳۷	-۰/۳۴۱	۰/۰۰۵	رشت
-۱/۲۰۲	-۱/۰۰۸	-۱/۲۶۷	-۰/۹۷۳	-۰/۴۶۸	-۰/۲۹۴	۰/۱۷۳	۰/۲۱۶	۰/۳۷۸	۰/۳۰۹	سقز

MBE (۳ از ۸ ایستگاه) دقت بیشتری نسبت به دیگر پایگاه‌ها دارد، در حالی که پایگاه MERRA-2 کمترین دقت را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها اهمیت انتخاب صحیح پایگاه داده و مدل مناسب برای بهبود برآوردها را نشان می‌دهد.

در اقلیم‌های خیلی مرطوب نوع A و B (ایستگاه‌های رشت و کوه‌رنگ)، همه پایگاه‌ها مقادیر تبخیر و تعرق را بیش تخمین کرده‌اند، که ممکن است به مدل‌سازی نادرست شرایط مرطوب شدید مربوط باشد. به طور کلی، پایگاه CPC Global با عملکرد برتر در شاخص

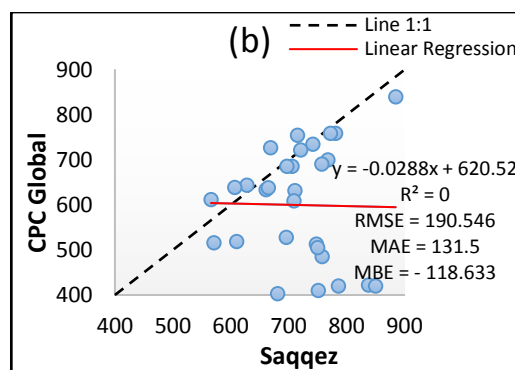
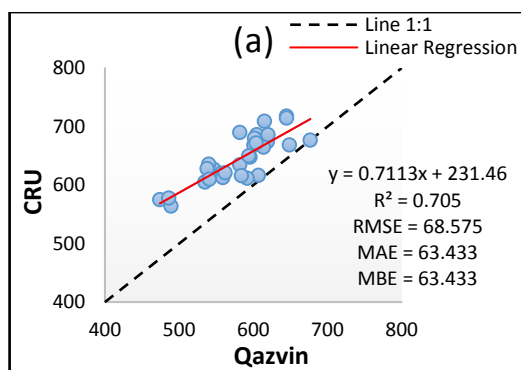


شکل ۳- نمودار پراکندگی مربوط به بیشترین (a) و کمترین (b) همبستگی بین تبخیر و تعرق واقعی ذرت پایگاهها و ایستگاهها

تبخیر و تعرق واقعی گندم

بیشترین و کمترین دقت پیش‌بینی را دارند. این تفاوت‌ها به توانایی پایگاه‌ها در پیش‌بینی دقیق و کیفیت داده‌های ورودی آنها مرتبط است. شاخص MBE نشان می‌دهد که داده‌های برآوردشده با پایگاه CPC Global در ایستگاه کوه‌رنگ (۱/۷۳۳) بهترین عملکرد را دارند. در اقلیم‌های نیمه‌خشک و مرطوب نوع A (ایستگاه‌های قزوین، بابلسر و رشت)، مقادیر تبخیر و تعرق برآوردشده با همه پایگاه‌ها بیش تخمین شده است، که ممکن است به مدل‌سازی نادرست شرایط مرطوب شدید یا نیاز به داده‌های با دقت بالاتر برای این اقلیم‌ها مربوط باشد. به طور کلی، پایگاه‌های ERA5 و CRU کمترین دقت نسبت به سایر پایگاه‌ها دارند، در حالی که MERRA-2 کمترین دقت را نشان می‌دهد که ممکن است ناشی از ضعف مدل یا کیفیت پایین داده‌ها باشد. یافته‌های Navidi Nassaj و همکاران (۲۰۲۲) نیز این موضوع را تأیید کرده و دقت ERA5 را به کیفیت داده‌ها و الگوریتم‌های محاسباتی پیشرفته مرتبط دانسته‌اند. داده‌های دقیق‌تر مانند ERA5 باعث بهبود دقت پیش‌بینی‌های مدل AquaCrop می‌شوند.

در جدول ۲، نتایج ارزیابی تبخیر و تعرق گندم با داده‌های پایگاه‌ها برای ایستگاه‌های سینوپتیک ارائه شده است. شاخص R^2 نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی بین داده‌های برآوردشده با پایگاه CRU در ایستگاه قزوین (۰/۷۰۵) و کمترین همبستگی بین داده‌های پایگاه CPC Global در ایستگاه سقز (۰) است (شکل ۴). داده‌های پایگاه CPC Global در تمامی ۸ ایستگاه ضعیف‌ترین عملکرد را دارند، که می‌تواند به عدم تطابق با شرایط اقلیمی محلی مربوط شود. به طور کلی، همبستگی داده‌ها متوسط رو به پایین است که ممکن است به تنوع اقلیمی و کمبود داده‌های دقیق مربوط باشد. شاخص RMSE نشان می‌دهد که داده‌های پایگاه CRU در ایستگاه اهواز (۲۴/۶۷۷) و پایگاه MERRA-2 در ایستگاه قزوین (۳۵۱/۷۲۷) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را دارند. پایگاه CRU با دقت بالا در ۳ از ۸ ایستگاه عملکرد بهتری دارد، که می‌تواند به کیفیت داده‌های آن و تطابق بهتر با شرایط محلی مربوط باشد. در شاخص MAE، داده‌های برآوردشده با پایگاه CRU در ایستگاه اهواز (۲۰/۲) و با پایگاه MERRA-2 در ایستگاه قزوین (۳۴۹/۴۳۳) به ترتیب



شکل ۴- نمودار پراکندگی مربوط به بیشترین (a) و کمترین (b) همبستگی بین تبخیر و تعرق واقعی گندم پایگاهها و ایستگاهها

جدول ۲- ارزیابی داده‌های تبخیر و تعرق واقعی ذرت و گندم برآورد شده با پایگاه‌ها با داده‌های مشاهداتی ۱۹۸۹-۲۰۱۹

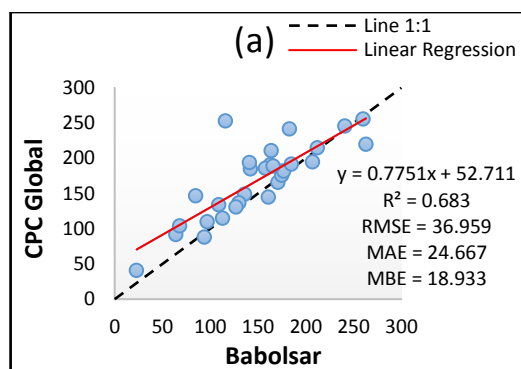
گندم					ذرت					ET _{actual}
MERRA-2	ERA5	ERA-interim	CRU	CPC GLOBAL	MERRA-2	ERA5	ERA-interim	CRU	CPC GLOBAL	
R ²										
۰/۶	۰/۵۱	۰/۶۴۷	۰/۳۶۴	۰/۰۱۴	۰/۱۶۲	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۱۷	۰/۰۲۷	اهواز
۰/۳۱۱	۰/۰۹۴	۰/۱۳۷	۰/۰۵۶	۰/۰۰۹	۰/۰۶۹	۰/۱۵۹	۰/۲۴۲	۰/۰۰۲	۰/۰۳۷	الیگودرز
۰/۲۹۷	۰/۳۵۶	۰/۴۳۸	۰/۴۴۹	۰/۱۳۹	۰/۴۳۱	۰/۶۳۸	۰/۲۶۸	۰/۳۸۲	۰/۴۷۲	بابلسر
۰/۱۸۵	۰/۳۷۲	۰/۳۶۴	۰/۰۹۴	۰/۰۵۵	۰/۱۸۲	۰/۰۰۶	۰	۰/۰۰۴	۰/۱۵۵	کرمان
۰/۵۴	۰/۳۷	۰/۴۷۹	۰/۳۷۶	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۷۹	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۳۵	کوه‌رنگ
۰/۴۲۶	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۷۰۵	۰/۲۴۵	۰/۰۷۸	۰/۳۶۸	۰/۰۶۴	۰/۱۹۷	۰/۳۳۲	قزوین
۰/۴۶۴	۰/۵۳۸	۰/۵۷۷	۰/۵۴۸	۰/۱۸۸	۰/۵۲۱	۰/۴۴۹	۰/۱۶۱	۰/۲۱۴	۰/۳۸۷	رشت
۰/۴۳۹	۰/۶۱	۰/۵۱۶	۰/۱۶۲	۰	۰/۰۸۴	۰/۱۴۴	۰/۲۴۹	۰/۰۰۷	۰	سقز
RMSE										
۲۲۱/۷۵۴	۷۱/۰۱۱	۶۹/۹۱۲	۲۴/۶۷۷	۳۹/۲۹۲	۵۰۷/۲۲۳	۲۳۹/۰۵۸	۲۱۰/۷۹۸	۸۹/۹۶۸	۹۶/۰۶۹	اهواز
۱۴۲/۰۴۷	۷۰/۳۲۹	۶۹/۵۲۴	۷۱/۶۰۱	۱۱۴/۰۱۶	۱۸۵/۸۳۱	۱۵۹/۱۲۲	۱۵۴/۷۸۶	۲۲۸/۰۹۱	۲۰۴/۷۹۳	الیگودرز
۲۰۸/۴۱۹	۳۲/۴۲۳	۱۳۷/۸۶۶	۲۶/۰۸۵	۲۹/۴۷۸	۲۰۲/۳۷۲	۳۴/۳۷۵	۲۷/۵۷۴	۹۰/۵۲۵	۲۶/۴۵۸	بابلسر
۱۹۵/۸۱۴	۴۷/۷۳۸	۵۹/۰۴۹	۶۷/۰۵۷	۱۵۰/۴۳	۲۶۱/۰۰۷	۹۱/۷۰۲	۱۱۱/۱۹۱	۹۳/۸۸۳	۱۱۹/۲۵۱	کرمان
۱۵۵/۸۲	۱۶۰/۵۵۷	۱۰۴/۳۱۴	۱۳۴/۸۸۵	۱۰۰/۴۹۸	۲۸۳/۷۹۱	۶۴/۹۶۴	۱۲۳/۷۳۲	۱۰۷/۹۱۲	۷۹/۶۲۸	کوه‌رنگ
۳۵۱/۲۲۷	۱۲۸/۵۱۷	۳۷/۶۲	۶۸/۵۷۵	۵۹/۸۵۷	۱۱۷/۵۲۷	۴۵/۰۴۱	۷۲/۴۸۹	۴۲/۰۴۸	۳۳/۴۹۱	قزوین
۱۳۸/۵۲۸	۵۸/۳۳	۱۲۱/۴۴۱	۲۷/۷۷۵	۳۷/۸۸۸	۱۵۷/۳۵۲	۴۰/۶۲۵	۶۱/۹۵۱	۱۰۶/۴۰۸	۲۸/۶	رشت
۲۱۴/۰۶	۴۸/۳۳۵	۵۳/۰۵۴	۸۰/۹۲۹	۱۹۰/۵۴۶	۳۲۵/۲۶۶	۷۳/۲۷۵	۶۱/۷۷۴	۶۳/۳۶۶	۹۵/۶۴۷	سقز
MAE										
۲۲۰/۵	۶۴/۸۳۳	۶۷/۱۳۳	۲۰/۲	۲۶/۷۳۳	۴۹۵/۷۶۷	۲۲۵/۲۶۷	۱۹۶/۰۳۳	۷۲/۹۳۳	۷۸/۰۶۷	اهواز
۱۳۰/۲۳۳	۵۴/۰۳۳	۵۸/۱۳۳	۵۹	۸۸/۷	۱۶۳/۴۳۳	۱۴۴/۲۶۷	۱۴۰/۲	۲۱۵/۲۶۷	۱۹۱/۶	الیگودرز
۲۰۷/۱۳۳	۲۸/۱۳۳	۱۳۶/۴۳۳	۲۰/۸۳۳	۲۶/۷	۲۰۰/۸۳۳	۳۰/۲۶۷	۲۲/۳	۸۷/۲۶۷	۱۹/۵۶۷	بابلسر
۱۸۷/۲۶۷	۴۰/۴	۵۱/۱	۵۳/۱	۱۳۶/۴۶۷	۲۴۹/۱۶۷	۷۵/۵	۹۴/۸۳۳	۷۲/۲۶۷	۱۰/۱/۴	کرمان
۱۵۰/۳	۱۵۳/۳۶۷	۹۵/۵۶۷	۱۲۶/۷	۸۶/۰۶۷	۲۷۸/۸	۵۶/۲۳۳	۱۱۹	۹۸/۹	۶۹/۹۳۳	کوه‌رنگ
۳۴۹/۴۳۳	۱۲۵/۰۳۳	۳۱/۸۳۳	۶۳/۴۳۳	۵۰/۸۳۳	۱۱۱/۶۶۷	۴۰/۴۳۳	۶۵/۸۳۳	۳۸/۰۶۷	۲۳/۴۳۳	قزوین
۱۳۷/۲۶۷	۵۵/۹۳۳	۱۲۰/۲	۲۴/۴۶۷	۳۴/۱	۱۵۵/۹۶۷	۳۳/۹۳۳	۵۴/۸۳۳	۱۰۲/۹۶۷	۲۲/۲۳۳	رشت
۲۰۵/۱۶۷	۴۰/۱۶۷	۴۲	۶۹/۶	۱۳۱/۵	۳۱۶/۶۶۷	۵۳/۳۳۳	۴۲/۲۳۳	۵۶/۷۶۷	۶۶/۶	سقز
MBE										
۲۲۰/۵	۶۴/۸۳۳	۶۷/۱۳۳	-۹/۲۶۷	-۹/۷۳۳	۴۹۵/۷۶۷	۲۲۵/۲۶۷	۱۹۶/۰۳۳	-۶۴/۶۶۷	-۲۲/۵۳۳	اهواز
۱۳۰/۲۳۳	۵/۵	-۲۴/۸۶۷	۲۱/۶	-۷۵/۰۳۳	۱۶۳/۴۳۳	-۱۴۴/۲۶۷	-۱۴۰/۲	-۲۱۵/۲۶۷	-۱۹۱/۶	الیگودرز
۲۰۷/۱۳۳	۲۷/۵۳۳	۱۳۶/۴۳۳	۲۰/۴۳۳	۱۹/۱	۲۰۰/۸۳۳	۲۹/۴۶۷	۳/۶۳۳	۸۷/۲۶۷	-۱۴/۶۳۳	بابلسر
۱۸۷/۲۶۷	-۳۳/۴	-۵۰/۹۶۷	۴۲/۱۶۷	-۱۳۶/۴۶۷	۲۴۹/۱۶۷	-۲۰/۰۳۳	۶۸/۱۶۷	۱۳/۱۶۷	-۱۰/۱/۳۳	کرمان
۱۵۰/۳	۱۵۳/۳۶۷	-۹۵/۵۶۷	۱۲۶/۷	۱/۷۳۳	۲۷۸/۸	۵۶/۰۳۳	۱۱۹	۹۸/۹	۶۸/۴	کوه‌رنگ
۳۴۹/۴۳۳	۱۲۵/۰۳۳	۱۹/۹۶۷	۶۳/۴۳۳	۲۰/۵	۱۱۱/۶۶۷	۳۸/۸۳۳	-۶۴/۵۶۷	-۳۴/۸	-۱۵/۱	قزوین
۱۳۷/۲۶۷	۵۵/۹۳۳	۱۲۰/۲	۲۳/۹۳۳	۲۵/۹	۱۵۵/۹۶۷	۳۳/۶	۵۴/۸۳۳	۱۰۲/۹۶۷	۹/۱	رشت
۲۰۵/۱۶۷	-۱۱/۰۳۳	۸/۷۳۳	-۳۷/۸	-۱۱۸/۶۳۳	۳۱۶/۶۶۷	۴۹/۷۳۳	۳۲/۶۳۳	-۲۴/۵	-۳۶/۶	سقز

پایگاه CPC Global در ایستگاه اهواز (+) مشاهده می‌شود (شکل ۵). تفاوت در نتایج پایگاه CPC Global ممکن است به دلیل مدل‌سازی نادرست یا عدم تطابق با شرایط محلی و کیفیت پایین داده‌های ورودی در بعضی از ایستگاه‌ها باشد. داده‌های پایگاه ERA5 با بیشترین همبستگی (۳ از ۸ ایستگاه) نسبت به دیگر پایگاه‌ها،

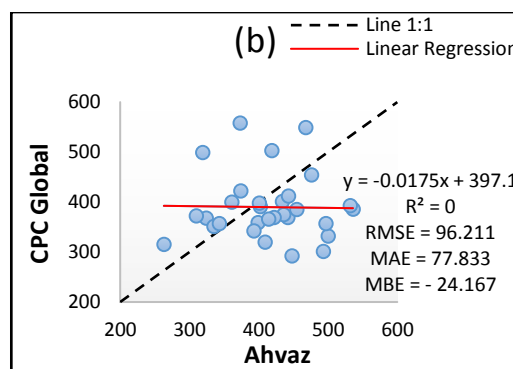
نیاز آبی ذرت

نتایج ارزیابی نیاز آبی ذرت برآورد شده با داده‌های اقلیمی پایگاه‌های منتخب برای ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس شاخص R²، بیشترین همبستگی بین داده‌های پایگاه CPC Global در ایستگاه بابلسر (۰/۶۸۳) و کمترین همبستگی با

کوهرننگ)، مقادیر نیاز آبی ذرت برآوردشده با همه پایگاه‌ها بیش تخمین شده‌اند، که ممکن است به مدل‌سازی نادرست شرایط مرطوب یا نیاز به داده‌های دقیق‌تر مربوط باشد. به طور کلی، پایگاه CPC Global از نظر شاخص MBE (۴ از ۸ ایستگاه) عملکرد بهتری دارد. در نهایت با در نظر گرفتن همه شاخص‌ها، پایگاه ERA5 دقت بالاتری در برآورد نیاز آبی ذرت دارد و پایگاه MERRA-2 دقت کمتری دارد که ممکن است به ضعف مدل یا کیفیت پایین‌تر داده‌های ورودی مرتبط باشد. نتایج این پژوهش با مطالعه‌ی Ogunisola و همکاران (۲۰۲۴) که دقت داده‌های بازتحلیل اقلیمی را در برآورد نیاز آبی ذرت بررسی کرده‌اند، همخوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که اصلاح داده‌های اقلیمی می‌تواند دقت برآورد نیاز آبی را بهبود بخشد، در حالی که استفاده از داده‌های بدون اصلاح، خطای بیشتری در نتایج ایجاد می‌کند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که کیفیت داده‌های ورودی تأثیر زیادی بر دقت برآورد نیاز آبی دارد.



عملکرد بهتری دارند، اما همبستگی کلی ضعیف است، احتمالاً به دلیل تفاوت‌های اقلیمی و عدم تطابق داده‌ها. شاخص RMSE نشان می‌دهد که داده‌های پایگاه CPC Global در ایستگاه بابلسر (۳۶/۹۵۹) و پایگاه MERRA-2 در ایستگاه اهواز (۵۱۵/۳۷۶) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را دارند. پایگاه ERA5 با دقت بالا در شبیه‌سازی (۵ از ۸ ایستگاه) عملکرد بهتری نسبت به دیگر پایگاه‌ها دارد. بر اساس شاخص MAE، داده‌های پایگاه CPC Global در ایستگاه بابلسر (۲۴/۶۶۷) و پایگاه MERRA-2 در ایستگاه اهواز (۵۰۳/۹۳۳) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را نشان می‌دهند. پایگاه ERA5 با کمترین خطا در پیش‌بینی (۳ از ۸ ایستگاه) بهترین عملکرد و پایگاه MERRA-2 با بیشترین خطا (۵ از ۸ ایستگاه) ضعیف‌ترین عملکرد را دارد. بر اساس شاخص MBE، داده‌های پایگاه CRU در ایستگاه کرمان (۱۱/۷۶۷) بهترین عملکرد را دارند. در اقلیم‌های مرطوب و خیلی مرطوب نوع B (ایستگاه‌های بابلسر و



شکل ۵- نمودار پراکندگی مربوط به بیشترین (a) و کمترین (b) همبستگی بین داده‌های نیاز آبی ذرت پایگاه‌ها و ایستگاه‌ها

نیاز آبی گندم

شاخص MAE، داده‌های برآوردشده با پایگاه ERA5 در ایستگاه رشت (۱۳/۶) و داده‌های برآوردشده با پایگاه MERRA-2 در ایستگاه قزوین (۳۰/۶) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را دارند. ERA5 با کمترین خطا (۴ از ۸ ایستگاه) عملکرد بهتری دارد، در حالی که MERRA-2 با بیشترین خطا (۷ از ۸ ایستگاه) به دلیل کیفیت داده‌ها، عملکرد ضعیف‌تری دارد. شاخص MBE نشان می‌دهد که داده‌های برآوردشده با پایگاه ERA-interim در ایستگاه سقز (۰/۳۳) بهترین عملکرد را دارند. در اقلیم مرطوب (ایستگاه بابلسر)، مقادیر نیاز آبی گندم برآوردشده با همه پایگاه‌ها بیشتر از مقادیر ایستگاهی است، که ممکن است به دلیل مدل‌سازی نادرست شرایط مرطوب یا نیاز به داده‌های دقیق‌تر باشد. به طور کلی با در نظر گرفتن همه شاخص‌های ارزیابی برای نیاز آبی گندم، دقت پایگاه ERA5 بالاتر از دیگر پایگاه‌ها است و پایگاه MERRA-2 دقت کمتری دارد. نتایج این پژوهش با مطالعه‌ی Ogunisola و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد و نشان می‌دهد که کیفیت داده‌های ورودی تأثیر زیادی بر دقت برآورد نیاز آبی دارد.

نتایج ارزیابی داده‌های نیاز آبی گندم برآوردشده با داده‌های اقلیمی پایگاه‌های منتخب برای ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس شاخص R^2 ، بیشترین همبستگی، در داده‌های نیاز آبی گندم برآوردشده با پایگاه ERA5 در ایستگاه اهواز (۰/۱۹) و کمترین همبستگی با پایگاه CPC Global در ایستگاه کرمان (۰/۰۲۱) مشاهده می‌شود. داده‌های ERA5 به دلیل تطابق بهتر با شرایط محلی، همبستگی بالاتری دارند، در حالی که CPC Global ممکن است به دلیل کیفیت پایین داده‌ها در این اقلیم، همبستگی کمتری داشته باشد. شاخص RMSE نشان می‌دهد که داده‌های برآوردشده با پایگاه ERA5 در ایستگاه بابلسر (۱۷/۸۵۴) و داده‌های برآوردشده با پایگاه MERRA-2 در ایستگاه قزوین (۳۰۸/۶۸۲) به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را دارند. ERA5 با دقت بالاتر در شبیه‌سازی (۴ از ۸ ایستگاه) به عملکرد بهتر اشاره دارد، در حالی که MERRA-2 با دقت پایین‌تر (۸ از ۸ ایستگاه) احتمالاً به دلیل مشکلات داده‌ها، عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان می‌دهد. در

جدول ۳- ارزیابی داده‌های نیاز آبی ذرت و گندم برآوردشده با پایگاه‌ها با داده‌های مشاهداتی ۱۹۸۹-۲۰۱۹

گندم					ذرت					نیاز آبی
MERRA-2	ERA5	ERA-interim	CRU	CPC GLOBAL	MERRA-2	ERA5	ERA-interim	CRU	CPC GLOBAL	
R²										
۰/۶۷۷	۰/۸۱۹	۰/۷۸۹	۰/۶۲۴	۰/۴۵۶	۰/۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۳۱	۰/۰۸۴	۰	اهواز
۰/۵۷۱	۰/۳۵۷	۰/۴۶۲	۰/۲۹۹	۰/۲۳۵	۰/۰۶۵	۰/۲۶۵	۰/۳۴	۰/۰۸۱	۰/۰۴۷	الیگودرز
۰/۴۰۴	۰/۷۷۶	۰/۴۱۶	۰/۵۱	۰/۶۸۱	۰/۴۵۷	۰/۶۳۹	۰/۵۳۸	۰/۳۸۷	۰/۶۸۳	بابلسر
۰/۲۰۹	۰/۳۳۵	۰/۳۴۳	۰/۱۹۱	۰/۰۲۱	۰/۱۹۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۱۵۸	کرمان
۰/۵۷۴	۰/۴۱۶	۰/۵۲۷	۰/۲۷۴	۰/۰۵۳	۰/۰۵۱	۰/۰۵۳	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	کوه‌رنگ
۰/۱۶۹	۰/۶۷	۰/۳۶۳	۰/۵۸۴	۰/۴۰۱	۰/۰۹۱	۰/۴۵۴	۰/۰۸۸	۰/۳۳۱	۰/۳۶۶	قزوین
۰/۲۲۶	۰/۶۲۸	۰/۲۵۴	۰/۳۷۷	۰/۴۶۸	۰/۲۰۳	۰/۶۰۳	۰/۲۶۴	۰/۳۰۷	۰/۳۸۴	رشت
۰/۷۰۵	۰/۷۵۶	۰/۶۵	۰/۵۵۳	۰/۰۹۵	۰/۱۰۲	۰/۳۵۱	۰/۳۶۸	۰/۱۲۸	۰/۰۰۸	سقز
RMSE										
۲۳۷/۸۱۴	۵۰/۱۹۱	۴۸/۴۷	۴۵/۰۷	۴۲/۰۵۳	۵۱۵/۳۷۶	۲۳۷/۱۷۳	۲۱۵/۷۷۱	۸۶/۳۷۵	۹۶/۲۱۱	اهواز
۲۰۸/۷۷	۷۷/۱۴۵	۵۴/۳۷۱	۶۶/۳۳۹	۷۱/۴۹	۱۹۳/۰۴۲	۱۶۱/۸۷۵	۱۶۵/۹۱۸	۲۷۴/۸۲۵	۲۱۲/۴۴۴	الیگودرز
۱۸۳/۷۶۹	۱۷/۸۵۴	۷۶/۸۲۹	۱۰۸/۹۷۸	۲۹/۴۳۲	۲۴۵/۱۱۶	۷۲/۹۳۸	۵۸/۷۳۲	۲۲۶/۷۷۶	۳۶/۹۵۹	بابلسر
۲۱۹/۴۰۴	۵۰/۱۱۳	۷۹/۷۰۵	۵۶/۳۵	۱۴۰/۵۳۶	۲۶۷/۰۱۳	۹۲/۶۰۲	۱۰۹/۱۵۸	۹۵/۶۹۶	۱۲۱/۶۹۸	کرمان
۲۶۰/۸۲۱	۱۵۶/۸۰۱	۵۳/۸۱	۱۱۹/۴۸۸	۱۳۲/۲۸۶	۳۰۳/۱۰۷	۶۰/۶۵۷	۱۳۵/۴۰۵	۷۱/۸۱۳	۹۱/۱۲	کوه‌رنگ
۳۰۸/۶۸۲	۷۵/۰۹۷	۷۸/۳۵۸	۷۵/۰۸۴	۶۰/۴۴	۹۶/۶۰۳	۴۰/۳۸۲	۱۳۳/۰۴۷	۵۱/۲۹۴	۴۱/۹۷۵	قزوین
۱۰۳/۶۰۸	۱۹/۴۷۸	۸۵/۹۰۱	۹۸/۶۶۴	۴۳/۱۷۸	۱۸۳/۰۲۳	۵۱/۸۲۱	۱۰۹/۱۴۱	۲۷۱/۷۹۲	۵۲/۷۳۷	رشت
۲۵۳/۷۶۴	۴۹/۶۲۵	۵۵/۴۰۵	۷۷/۰۷۸	۱۴۲/۲۷۲	۳۴۳/۴۹۳	۷۶/۱۳۹	۶۳/۷۴۶	۶۹/۷۹۴	۱۰۰/۰۸۲	سقز
MAE										
۲۳۴/۷۶۷	۴۰/۰۳۳	۳۸/۷	۳۷/۵۳۳	۳۴/۲۳۳	۵۰۳/۹۳۳	۲۲۴/۱	۲۰۲/۴	۷۱/۳	۷۷/۸۳۳	اهواز
۲۰۰/۸	۶۲/۹۳۳	۴۲/۴۳۳	۵۱/۶۶۷	۵۹/۹۶۷	۱۶۷/۴۶۷	۱۴۷/۰۳۳	۱۵۱/۵۶۷	۲۶۵/۰۶۷	۱۹۹/۱	الیگودرز
۱۷۶/۰۳۳	۱۴/۵	۶۹/۹۳۳	۱۰۵/۹۶۷	۱۶/۹۳۳	۲۳۹/۸۳۳	۶۴/۸۳۳	۵۰/۸	۲۲۱/۴	۲۴/۶۶۷	بابلسر
۲۱۱/۱۶۷	۳۹/۴۳۳	۶۸/۷	۴۵/۵۶۷	۱۲۳/۶	۲۵۵/۵۶۷	۷۶/۰۶۷	۹۴/۷۳۳	۷۴/۲۳۳	۱۰۲/۹۶۷	کرمان
۲۵۶/۴۶۷	۱۴۹/۲۳۳	۴۳/۵	۱۰۳/۲۳۳	۱۱۲/۴۶۷	۲۹۸/۱	۴۹/۵۶۷	۱۳۱/۲	۶۰/۵۳۳	۸۱/۴	کوه‌رنگ
۳۰۰/۶	۶۴/۶۳۳	۶۴/۳۳۳	۶۴/۷۳۳	۴۸/۶۶۷	۸۴/۶۳۳	۳۳/۷۶۷	۱۲۴/۳۶۷	۴۴/۴۳۳	۳۳/۷۳۳	قزوین
۸۷/۹۶۷	۱۳/۶	۷۷/۶	۹۵/۲۶۷	۲۹	۱۶۹/۶۶۷	۳۹/۶۶۷	۹۹/۵۳۳	۲۶۷/۰۶۷	۳۹/۹	رشت
۲۴۸/۲	۴۰/۸	۴۶/۳۶۷	۶۵/۰۶۷	۹۴/۴۶۷	۳۳۴/۵۶۷	۵۵/۸۶۷	۴۲/۴۶۷	۶۴/۵	۷۰/۱۳۳	سقز
MBE										
۲۳۴/۷۶۷	۲۳/۲۳۳	۲۵/۲۳۳	-۳۱/۵۳۳	۱۵/۱	۵۰۳/۹۳۳	۲۲۴/۱	۲۰۲/۴	-۵۸/۹	-۲۴/۱۶۷	اهواز
۲۰۰/۸	۴۷/۳۳۳	-۴/۷۶۷	-۱۷/۲	-۱۷/۴۳۳	۱۶۷/۴۶۷	-۱۴۷/۰۳۳	-۱۵۱/۵۶۷	-۲۶۵/۰۶۷	-۱۹۹/۱	الیگودرز
۱۷۶/۰۳۳	۳/۷	۶۸	۱۰۵/۹۶۷	۱۵/۰۶۷	۲۳۹/۸۳۳	۶۴/۸۳۳	۴۵/۰۶۷	۲۲۱/۴	۱۸/۹۳۳	بابلسر
۲۱۱/۱۶۷	-۲۹/۳۶۷	-۶۷/۳	۲۲/۹۶۷	-۱۲۲/۱۳۳	۲۵۵/۵۶۷	-۲۲	۶۱/۲	۱۱/۷۶۷	-۱۰۳/۷	کرمان
۲۵۶/۴۶۷	۱۴۹/۲۳۳	-۳۱/۵	۱۰۱/۶۳۳	۱۰۲/۵	۲۹۸/۱	۴۹/۵	۱۳۱/۲	۵۴/۸۶۷	۸۰/۷۳۳	کوه‌رنگ
۳۰۰/۶	۶۴/۵۶۷	-۵۱/۴	۶۲/۱۳۳	۲۲	۷۴/۸۳۳	۳۱/۲۳۳	-۱۲۴/۳۶۷	-۴۲/۷۶۷	-۲۸/۲۶۷	قزوین
۸۷/۹۶۷	-۳/۶	۷۷/۵۳۳	۹۵/۲۶۷	۲۸/۳۳۳	۱۶۹/۶۶۷	-۳۶/۹۳۳	۹۷/۷۳۳	۲۶۷/۰۶۷	۲۴/۱	رشت
۲۴۸/۲	-۱۹/۱۳۳	۰/۰۳۳	-۴۴/۴۶۷	-۷۷/۴۶۷	۳۳۴/۵۶۷	۵۴/۸	۳۴/۳۳۳	-۳۸/۷۶۷	-۳۵/۲۶۷	سقز

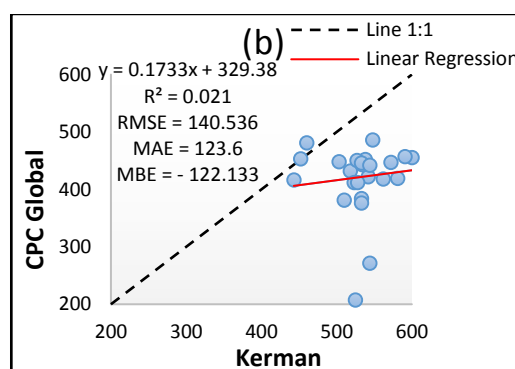
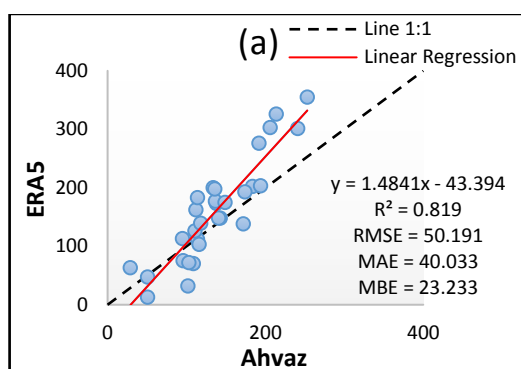
عملکرد ذرت

نتایج ارزیابی داده‌های عملکرد ذرت برآوردشده با داده‌های اقلیمی پایگاه‌های مختلف برای ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول ۴ آمده است. بر اساس شاخص R²، بیشترین همبستگی بین داده‌های

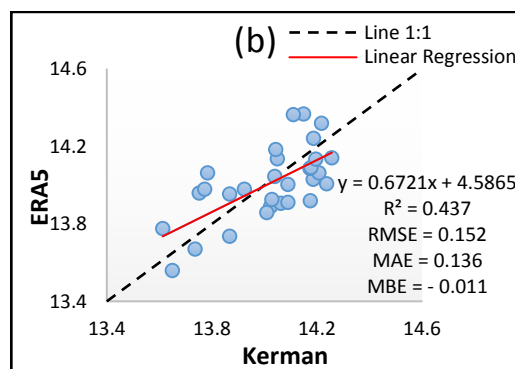
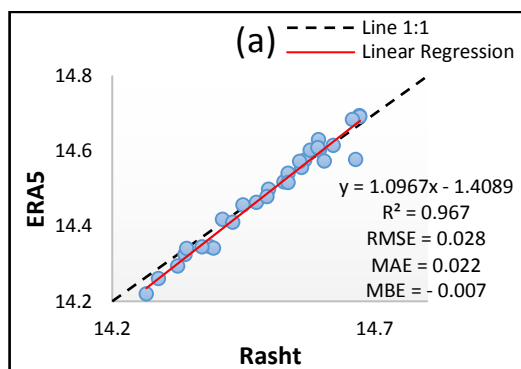
عملکرد ذرت برآوردشده با پایگاه‌های ERA5 و CPC Global در ایستگاه رشت (۰/۹۶۷) و کمترین همبستگی بین داده‌های برآوردشده با پایگاه ERA5 در ایستگاه کرمان (۰/۴۳۷) مشاهده می‌شود (شکل ۷). تفاوت همبستگی ERA5 بین رشت و کرمان ممکن است به

دارد، در حالی که MERRA-2 با بیشترین خطا (۷ از ۸ ایستگاه) عملکرد ضعیفتری دارد. شاخص MBE نشان می‌دهد که داده‌های پایگاه CPC Global در ایستگاه رشت (۰/۰۰۳) بهترین عملکرد را دارند. در مقابل، پایگاه MERRA-2 در تمامی ایستگاه‌ها مقدار عملکرد ذرت را کمتر از داده‌های مشاهده‌ای تخمین می‌زند که ممکن است به دلیل مدل‌سازی نادرست یا کیفیت پایین داده‌ها باشد. در نهایت با توجه به همه شاخص‌ها، پایگاه ERA5 با دقت بالاتر و عملکرد مناسب در برآورد عملکرد ذرت نسبت به دیگر پایگاه‌ها برتری دارد. نتایج این تحقیق با مطالعه Yeşilköy و Demir (۲۰۲۴) همخوانی دارد. این مطالعه نیز نشان داده است که داده‌های بازتحلیل اقلیمی، همچون ERA5، می‌توانند دقت پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی را افزایش دهند.

دلیل تطابق بهتر داده‌ها با شرایط اقلیمی رشت باشد. به طور کلی داده‌های پایگاه ERA5 به دلیل کیفیت بالاتر و تطابق بهتر با شرایط محلی (۴ از ۸ ایستگاه)، همبستگی بیشتری دارند. شاخص RMSE نشان می‌دهد که داده‌های عملکرد ذرت برآوردشده با پایگاه CPC Global در ایستگاه رشت (۰/۰۲۲) بالاترین دقت و داده‌های پایگاه MERRA-2 در ایستگاه اهواز (۴/۹۲۲) کمترین دقت را دارند. به جز پایگاه MERRA-2، سایر پایگاه‌ها در ۲ ایستگاه از ۸ ایستگاه عملکرد مشابهی دارند. دقت پایین پایگاه MERRA-2 ممکن است به مشکلات داده‌های ورودی یا محدودیت‌های مدل‌سازی مربوط باشد. در شاخص MAE، داده‌های پایگاه CPC Global در ایستگاه رشت (۰/۰۱۸) دارای بیشترین دقت و داده‌های پایگاه MERRA-2 در ایستگاه اهواز (۴/۳۰۲) دارای کمترین دقت هستند. پایگاه ERA5 با کمترین خطا در پیش‌بینی مدل (۳ از ۸ ایستگاه) بهترین عملکرد را



شکل ۶- نمودار پراکنندگی مربوط به بیشترین (a) و کمترین (b) همبستگی بین نیاز آبی گندم پایگاه‌ها و ایستگاه‌ها



شکل ۷- نمودار پراکنندگی مربوط به بیشترین (a) و کمترین (b) همبستگی بین عملکرد ذرت پایگاه‌ها و ایستگاه‌ها

است (شکل ۸). به طور کلی، داده‌های عملکرد برآوردشده با پایگاه CPC Global با بیشترین همبستگی (۵ از ۸ ایستگاه) نسبت به دیگر پایگاه‌ها عملکرد بهتری دارند و می‌توانند به عنوان مرجع قابل اعتماد در بررسی‌ها استفاده شوند. در شاخص RMSE، داده‌های برآوردشده با پایگاه CRU در ایستگاه اهواز با مقدار ۰/۰۷۶ و داده‌های پایگاه ERA-interim در ایستگاه بابل‌سر با مقدار ۰/۸۵۷ به ترتیب بیشترین

عملکرد گندم

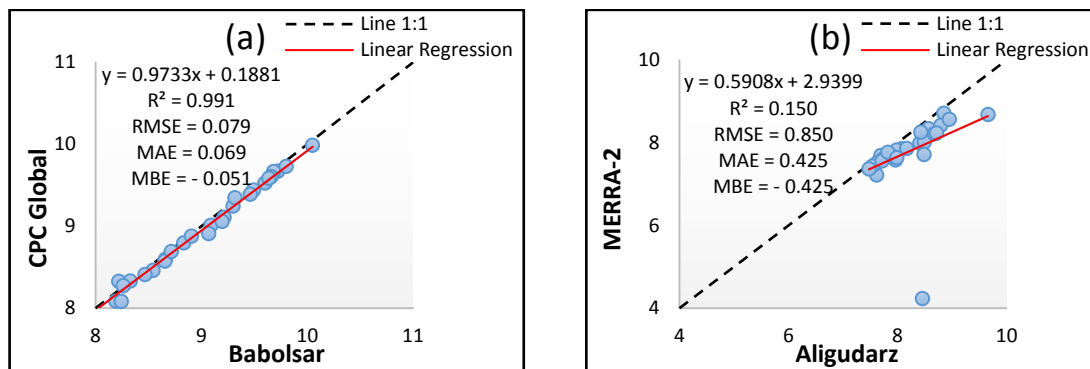
نتایج ارزیابی داده‌های عملکرد گندم برآوردشده با داده‌های اقلیمی پایگاه‌های منتخب برای ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس شاخص R^2 ، بیشترین همبستگی مربوط به پایگاه CPC Global در ایستگاه بابل‌سر با مقدار ۰/۹۹۱ و کمترین مربوط به پایگاه MERRA-2 در ایستگاه الیگودرز با مقدار ۰/۱۵

و کمترین دقت را دارند. پایگاه CPC Global با دقت شبیه‌سازی بالا (۶ از ۸ ایستگاه) عملکرد بهتری نسبت به دیگر پایگاه‌ها دارد، در حالی که پایگاه ERA-interim ضعیف‌ترین عملکرد (۵ از ۸ ایستگاه) را نشان می‌دهد. از نظر شاخص MAE، داده‌های برآوردشده با پایگاه

ERA- CRU در ایستگاه اهواز با مقدار ۰/۰۶۲ و داده‌های پایگاه interim در ایستگاه بابل‌سر با مقدار ۰/۷۸۶ به ترتیب بیشترین و کمترین دقت پیش‌بینی را دارند.

جدول ۴- ارزیابی داده‌های عملکرد ذرت و گندم برآوردشده با پایگاه‌ها با داده‌های مشاهداتی ۱۹۸۹-۲۰۱۹

گندم					ذرت					عملکرد
MERRA-2	ERA5	ERA-interim	CRU	CPC GLOBAL	MERRA-2	ERA5	ERA-interim	CRU	CPC GLOBAL	
R²										
۰/۹۰۸	۰/۹۲۷	۰/۸۵۶	۰/۹۳۸	۰/۸۷۱	۰/۶۵۳	۰/۸۷۱	۰/۵۳۷	۰/۸۳۴	۰/۹۵۳	اهواز
۰/۱۵	۰/۸۲۱	۰/۸۱۴	۰/۸۷۵	۰/۸۹۲	۰/۵۹۷	۰/۶۶۳	۰/۶۴۵	۰/۶۳۳	۰/۵۶	الیگودرز
۰/۹۳۹	۰/۹۷۴	۰/۶۴۹	۰/۸۵۲	۰/۹۹۱	۰/۸۰۳	۰/۹۵۶	۰/۸۸۹	۰/۸۴	۰/۹۲۶	بابل‌سر
۰/۸۳۵	۰/۸۶۱	۰/۸۶۵	۰/۸۳۵	۰/۹۴۳	۰/۷۸۲	۰/۴۳۷	۰/۴۶	۰/۶۶۹	۰/۷۷۲	کرمان
۰/۸۸۹	۰/۸۷۲	۰/۷۹	۰/۸۵۹	۰/۷۷۲	۰/۷۹۳	۰/۸۳۹	۰/۷۵۵	۰/۸۵۷	۰/۶۳۹	کوه‌رنگ
۰/۶۰۹	۰/۸۹۹	۰/۸۱۷	۰/۹۱۳	۰/۹۶۶	۰/۶۳۳	۰/۹۵۳	۰/۷۳۳	۰/۹۲۴	۰/۸۸۶	قزوین
۰/۹۲۹	۰/۹۴۸	۰/۸۳۵	۰/۸۲۳	۰/۹۷۵	۰/۹۲۶	۰/۹۶۷	۰/۹۲۶	۰/۸۷۸	۰/۹۶۷	رشت
۰/۸۷۳	۰/۹۳	۰/۸۹۱	۰/۹۴۱	۰/۷۶۸	۰/۵۵۳	۰/۸۰۸	۰/۸۸۱	۰/۸۷۶	۰/۵۴۴	سقز
RMSE										
۰/۱۵۴	۰/۰۷۸	۰/۲۰۱	۰/۰۷۶	۰/۱۵۳	۴/۹۲۲	۱/۴۹۲	۲/۲۶۵	۲/۵۳۲	۰/۷۷۶	اهواز
۰/۸۵	۰/۳۴۲	۰/۴۶۷	۰/۳۱۲	۰/۲۷۲	۰/۲۳۵	۰/۱۱۲	۰/۱۴۲	۰/۱۹۴	۰/۱۸۷	الیگودرز
۰/۳۵۳	۰/۲۰۵	۰/۸۵۷	۰/۵۱۱	۰/۰۷۹	۰/۲۲۲	۰/۰۲۹	۰/۰۵۷	۰/۱۱	۰/۰۵۳	بابل‌سر
۰/۳۰۹	۰/۳۲۲	۰/۴۵	۰/۳۰۸	۰/۱۴	۰/۲۱۸	۰/۱۵۲	۰/۱۵۱	۰/۱۸	۰/۲۱۳	کرمان
۰/۲۰۸	۰/۵۹۱	۰/۲۴۸	۰/۲۲۲	۰/۲۳۶	۰/۱۸۱	۰/۲۹۵	۰/۱۲۲	۰/۰۹	۰/۱۱۸	کوه‌رنگ
۰/۴۱۸	۰/۳۶۴	۰/۲۶۲	۰/۴۱۸	۰/۱۴۵	۰/۳۳۹	۰/۰۵۵	۰/۱۲۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۸	قزوین
۰/۴۰۸	۰/۲۱	۰/۵۲۲	۰/۴۰۴	۰/۱۷۷	۰/۱۶۲	۰/۰۲۸	۰/۰۷۷	۰/۱۶۶	۰/۰۲۲	رشت
۰/۵۹۴	۰/۵	۰/۶۲۳	۰/۴۷۸	۰/۳۴۶	۰/۱۹۹	۰/۱۳۲	۰/۱۲۹	۰/۱۹۶	۰/۲۰۳	سقز
MAE										
۰/۱۲۴	۰/۰۶۴	۰/۱۷۳	۰/۰۶۲	۰/۰۸۹	۴/۳۰۲	۰/۹	۰/۹۶	۱/۴۱۷	۰/۴۹۲	اهواز
۰/۴۲۵	۰/۲۶۲	۰/۴۰۹	۰/۲۵	۰/۲۲۱	۰/۲۰۳	۰/۰۸۸	۰/۱۱۹	۰/۱۶۹	۰/۱۶۴	الیگودرز
۰/۳۰۱	۰/۱۶۶	۰/۷۸۶	۰/۴۵۳	۰/۰۶۹	۰/۲۱۳	۰/۰۲۱	۰/۰۴	۰/۰۹۲	۰/۰۴۳	بابل‌سر
۰/۲۶۹	۰/۲۶۱	۰/۴۲۲	۰/۲۵۶	۰/۱	۰/۱۹۷	۰/۱۳۶	۰/۱۲۸	۰/۱۴	۰/۱۹۱	کرمان
۰/۱۶۹	۰/۵۴۷	۰/۲۰۳	۰/۱۷۹	۰/۱۹۷	۰/۱۵۳	۰/۲۵۶	۰/۰۸۷	۰/۰۷۱	۰/۰۹۶	کوه‌رنگ
۰/۳۲۵	۰/۳۲۸	۰/۱۹۵	۰/۳۸۳	۰/۱۲	۰/۲۸۷	۰/۰۴۶	۰/۰۸۴	۰/۰۳۳	۰/۰۴	قزوین
۰/۳۵۷	۰/۱۶۴	۰/۴۳۲	۰/۳۶۳	۰/۱۳۳	۰/۱۵۸	۰/۰۲۲	۰/۰۶۸	۰/۱۵۸	۰/۰۱۸	رشت
۰/۵۷۵	۰/۴۸۴	۰/۶۰۸	۰/۴۶۷	۰/۲۴۵	۰/۱۵۸	۰/۰۹۸	۰/۱۰۷	۰/۱۸	۰/۱۵۱	سقز
MBE										
۰/۰۸۴	۰/۰۱۲	۰/۱۶۸	۰/۰۰۲	۰/۰۸۹	۰/۲۹۸	۰/۶۸۸	۰/۱۰۶	۱/۴۱۲	۰/۲۶	اهواز
۰/۴۲۵	۰/۲۶۲	۰/۴۰۹	۰/۲۴	۰/۲۱۵	۰/۱۹۹	۰/۰۶۸	۰/۱۰۹	۰/۱۶۷	۰/۱۵۹	الیگودرز
۰/۳۰۱	۰/۱۶۳	۰/۷۶۷	۰/۴۴۶	۰/۰۵۱	۰/۲۱۳	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۹۲	۰/۰۴	بابل‌سر
۰/۲۵۶	۰/۲۵۹	۰/۴۱۸	۰/۲۵۶	۰/۰۸۱	۰/۱۹۷	۰/۰۱۱	۰/۰۵۶	۰/۰۶۲	۰/۱۹	کرمان
۰/۱۱۲	۰/۵۴۷	۰/۱۰۹	۰/۰۸۷	۰/۰۴۲	۰/۱۵۲	۰/۲۵۴	۰/۰۶۶	۰/۰۴۹	۰/۰۱	کوه‌رنگ
۰/۲۶	۰/۳۲۵	۰/۱۴	۰/۳۸۳	۰/۱۱	۰/۲۸۷	۰/۰۴۴	۰/۰۴۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	قزوین
۰/۳۴۵	۰/۰۵۱	۰/۴۰۶	۰/۲۰۴	۰/۱۳۴	۰/۱۵۸	۰/۰۰۷	۰/۰۶۲	۰/۱۵۸	۰/۰۰۳	رشت
۰/۵۷۵	۰/۴۸۴	۰/۶۰۸	۰/۴۶۷	۰/۲۲۵	۰/۱۳۵	۰/۰۸۴	۰/۱۰۵	۰/۱۸	۰/۱۴۷	سقز



شکل ۸- نمودار پراکندگی مربوط به بیشترین (a) و کمترین (b) همبستگی بین عملکرد گندم پایگاه‌ها و ایستگاه‌ها

MERRA-2 در اقلیم‌های مرطوب و بسیار مرطوب دقت پایینی نشان داد. این نتایج اهمیت انتخاب پایگاه داده مناسب را برای شبیه‌سازی‌های دقیق و مدیریت منابع آب نشان می‌دهد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی تأثیر ترکیب چند پایگاه داده را بررسی کرده و به بهبود مدل‌های شبیه‌سازی برای اقلیم‌های مختلف بپردازند.

منابع

توکلی، ع.، لیاقت، ع و علیزاده، ا. ۱۳۹۲. بررسی موازنه آب خاک، تاریخ کاشت و عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop در شرایط دیم و آبیاری محدود. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۴(۴)، ۴۱-۵۶.

زند پارسا، ش.، قاسمی سعادت‌آبادی، ف.، مهبد، م و سپاسخواه، ع.ر. ۱۳۹۹. برآورد بهره‌وری و بازده مصرف آب گندم (رقم شیراز) در مقادیر مختلف کم آبیاری و کمبود نیتروژن. مجله علوم آب و خاک، ۲۴ (۲): ۱۸۱-۱۹۵.

مهرآذر، آ.، سلطانی، ج و رحمتی، ا. ۱۳۹۵. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت Zea mays L تحت شرایط تنش شوری. نشریه آب و خاک، ۳۰(۵)، ۱۴۳۹-۱۴۲۶.

میری، م.، عزیزی، ق.، محمدی، ح و پورهاشمی، م. ۱۳۹۶. معرفی و ارزیابی مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی با داده‌های مشاهده‌ای در ایران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۴)، ۱۷-۵. doi: 10.22131/sepehr.2018.30514

Andraos, C. 2024. Breaking Uncertainty Barriers: Approximate Bayesian Computation Advances in Rainfall-Runoff Modeling. *Water*, 16(23), 3499. <https://doi.org/10.3390/w16233499>

Blankenau, P. A., Kilic, A. and Allen, R. 2020. An evaluation of gridded weather data sets for the purpose of estimating reference evapotranspiration in the United States. *Agricultural Water*

پایگاه CPC Global با کمترین خطا (۶ از ۸ ایستگاه) بهترین عملکرد و پایگاه ERA-interim با بیشترین خطا (۵ از ۸ ایستگاه) بدترین عملکرد را از لحاظ شاخص MAE نشان می‌دهد. در شاخص MBE، داده‌های برآوردشده با پایگاه CRU در ایستگاه اهواز با مقدار ۰/۰۰۲ بهترین عملکرد را دارند. مقادیر عملکرد گندم برآوردشده با تمامی پایگاه‌ها در اقلیم‌های مدیترانه‌ای، فراخشک، نیمه خشک و نیمه مرطوب کمتر از داده‌های ایستگاهی تخمین زده شده‌اند. پایگاه CPC Global با بهترین عملکرد در شاخص MBE (۶ از ۸ ایستگاه) موفق‌تر عمل کرده است. به طور کلی، دقت پایگاه CPC Global در برآورد عملکرد گندم بالاتر از سایر پایگاه‌ها است، در حالی که پایگاه ERA-interim دقت کمتری دارد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، دقت پنج پایگاه داده اقلیمی جهانی (ERA5، ERA-Interim، CPC Global، CRU TS و MERRA-2) در شبیه‌سازی متغیرهای آگروهیدرولوژیکی برای محصولات ذرت و گندم با استفاده از مدل AquaCrop ارزیابی شد. هدف این پژوهش بررسی عملکرد پایگاه‌های اقلیمی در برآورد متغیرهایی همچون زیست‌توده، تبخیر و تعرق واقعی، نیاز آبی و عملکرد محصولات بود. نتایج نشان داد که پایگاه ERA5 به دلیل وضوح مکانی و زمانی بالا (۰/۲۵×۰/۲۵ درجه) و داده‌های به‌روز، دقیق‌ترین برآوردها را به‌ویژه در برآورد زیست‌توده و عملکرد محصولات ارائه می‌دهد و در اکثر اقلیم‌ها عملکرد مطلوبی دارد. با این حال، دقت آن در برآورد تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی در برخی ایستگاه‌ها چندان مطلوب نبوده است. پایگاه CPC Global نیز در برخی مناطق، به‌ویژه در اقلیم‌های مدیترانه‌ای و خشک، دقت مطلوبی داشت، اما در برخی موارد نسبت به ERA5 ضعیف‌تر عمل کرد. پایگاه ERA-Interim عملکردی متوسط نشان داد و در برخی شاخص‌ها مانند نیاز آبی ذرت دقت بیشتری داشت، اما در برآورد عملکرد گندم کمتر موفق بود. پایگاه‌های CRU TS و MERRA-2 عملکرد ضعیف‌تری داشتند و به‌ویژه

- Molod, A., Takacs, L., Randles, C. A., Darmenov, A., Bosilovich, M. G., Reichle, R., Wargan, K., Coy, L., Cullather, R., Draper, C., Akella, S., Buchard, V., Conaty, A., da Silva, A. M., Gu, W., Kim, G., Koster, R., Lucchesi, R., Merkova, D., Nielsen, J. E., Partyka, G., Pawson, S., Putman, W., Rienecker, M., Schubert, S. D., Sienkiewicz, M. and Zhao, B. 2017. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate*, 30(14), 5419-5454. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>
- Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P. et al. 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Science Data* 7: 109. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D. and Thépaut, J-N. 2023. ERA5 monthly averaged data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.f17050d7 (Accessed on 06-09-2024)
- Hoffmann, L., Günther, G., Li, D., Stein, O., Wu, X., Griessbach, S., Heng, Y., Konopka, P., Müller, R., Vogel, B. and Wright, J. S. 2019. From ERA-Interim to ERA5: The considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 3097–3124. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019>
- Kephe, P. N., Ayisi, K. K. and Petja, B. M. 2021. Challenges and opportunities in crop simulation modelling under seasonal and projected climate change scenarios for crop production in South Africa. *Agriculture and Food Security*. 10(10). <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00283-5>
- Khalili, A., Hajam, S. and Irannejad, P. 1992. Climatological studies of Iran. Vol.4: Climatic divisions of Iran, Integrated water plan of Iran report series, Jamab Consulting Engineering Co., The Ministry of Energy, Tehran, 295pp. (In Farsi)
- Kumar, P., Ojha, S. P., Singh, R., Kishtawal, C. M., and Pal, P. K. 2016. Performance of weather research and forecasting model with variable horizontal resolution. *Theoretical and Applied Climatology*. 126: 705-713. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1607-7>
- Navidi Nassaj, B., Zohrabi, N., Nikbakht Shahbazi, A. and Fathian, H. 2022. Evaluating the performance of eight global gridded precipitation datasets across Iran. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. vol 98. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2022.101297>
- Ogunsola, O. Q., Bankole, A. O., Soboyejo, L. A., Adejuwon, J. O. and Makinde, A. A. 2024. *Management*, 242, 106376. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106376>
- Chen, M., Xie, P. and Co-authors. 2008. CPC unified gauge-based analysis of global daily precipitation. Paper presented at the Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns, Australia, July 29 - August 1, 2008.
- Chen, Q., Jia, L., Menenti, M., Hu, G., Wang, K., Yi, Z., Zhou, J., Peng, F., Ma, S. and More Authors. 2023. A data-driven high spatial resolution model of biomass accumulation and crop yield: Application to a fragmented desert-oasis agroecosystem. *Ecological Modelling*. 475: Article 110182. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110182>
- Chen, Y., Sharma, S., Zhou, X., Yang, K., Li, X., Niu, X., Hu, X. and Khadka, N. 2021. Spatial performance of multiple reanalysis precipitation datasets on the southern slope of central Himalaya. *Atmospheric Research*. 250: 105365. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105365>
- Climate Change Knowledge Portal. 2024. Historical climate data for Iran. World Bank. Retrieved from <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/iran-islamic-rep/climate-data-historical>
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E.V., Isaksen, L., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.J., Park, B.K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.N. and Vitart, F. 2011. ERA-Interim global atmospheric reanalysis. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.f2f5241d (Accessed on 09-09-2024)
- Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. *Irrigation and Drainage Paper*, No. 33. FAO, Rome.
- Eini, M. R., Massari, C. and Piniewski, M. 2023. Satellite-based soil moisture enhances the reliability of agro-hydrological modeling in large transboundary river basins. *The Science of the total environment*. 873: 162396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162396>
- FAO. 2012. ETo Calculator, Land and Water Digital Media Series No. 36, FAO, Rome Italy. Available online: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/>
- FAO. 2021. The AquaCrop model – Enhancing crop water productivity. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <https://www.fao.org/3/cb7392en/cb7392en.pdf>
- Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R.,

- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Fereres, E. 2017. Reference Manual AquaCrop (Version 6.0), Chapter 1, FAO crop-water productivity model to simulate yield response to water. AquaCrop Website <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop>.
- Singh, R. 2004. Simulations on direct and cyclic use of saline waters for sustaining cotton-wheat in a semi-arid area of north-west India. *Agricultural Water Management*. 66(2): 153-162.
- Wang, Q., Li, W., Xiao, C., and Ai, W. 2020. Evaluation of High-Resolution Crop Model Meteorological Forcing Datasets at Regional Scale: Air Temperature and Precipitation over Major Land Areas of China. *Atmosphere*. <https://doi.org/10.3390/atmos11091011>
- Yeşilköy, S., and Demir, I. 2024. Crop yield prediction based on reanalysis and crop phenology data in the agroclimatic zones. *Theoretical and Applied Climatology*. 155(3): 7035-7048. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05046-x>
- Modeling deficit irrigation water demand of maize and potato in Eastern Germany using ERA5-Land reanalysis climate time series. *Irrigation Science*. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00939-1>
- Parkes, B., Higginbottom, T. P., Hufken, K., Ceballos, F., Kramer, B. and Foster, T. 2019. Weather dataset choice introduces uncertainty to estimates of crop yield responses to climate variability and change. IFPRI Discussion Paper 1870. Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Pelosi, A., Belfiore, O. R., D'Urso, G. and Chirico, G. B. 2022. Assessing crop water requirement and yield by combining ERA5-Land reanalysis data with CM-SAF satellite-based radiation data and Sentinel-2 satellite imagery. *Remote Sensing*. 14(24): 6233. <https://doi.org/10.3390/rs14246233>
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Fereres, E. 2012. AquaCrop – Reference Manual. Available at: <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>

Evaluation of Global Gridded Climate Datasets in Simulating Agro-Hydrological Variables in Iran

Y. Radmanesh¹, M. Sarai Tabrizi^{2*}, H. Ramezani Etedali³, A. Azizian⁴, H. Babazadeh⁵

Received: Sep.27, 2024

Accepted: Feb.28, 2025

Abstract

Water resource management and improving its efficiency in Iran, particularly in the agricultural sector, have become critical challenges due to recurring droughts and unique climatic conditions. This study evaluates the accuracy of five global climate datasets—CPC Global, CRU TS, ERA-Interim, ERA5, and MERRA-2—in simulating agro-hydrological variables using the AquaCrop model. Given Iran's diverse climates and limited data availability, the need for accurate models and reliable climate datasets to enhance water resource management is essential. To this end, climate data from various datasets and synoptic stations were compared for the period from 1989 to 2019. The results indicate that the ERA5 dataset, due to its higher spatial ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) and temporal resolution and more precise data, performed best in estimating biomass, evapotranspiration, net irrigation requirement, and crop yield across most climate zones. The CPC Global dataset also showed high accuracy in certain indices, particularly in Mediterranean and arid climates, but was less successful than ERA5 in some cases. The ERA-Interim dataset demonstrated moderate performance. On the other hand, the CRU TS and MERRA-2 datasets, especially MERRA-2, exhibited lower accuracy in humid and very humid climates and are generally not recommended for precise simulations. This research underscores the importance of selecting the appropriate climate dataset to improve crop model simulations and water resource management.

Keywords: AquaCrop Model, Climate Data, Water Productivity, Agricultural Simulation, ERA5

1- Ph.D. student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Academic Faculty Member, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

4- Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

5- Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: m.sarai@iau.ac.ir)