

## ارزیابی داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA در شبیه‌سازی عملکرد و نیاز آبی گندم دیم در استان خراسان رضوی

فاطمه یعقوبی<sup>1</sup> - محمد بنایان اول<sup>2\*</sup> - قربانعلی اسدی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1396/09/13

تاریخ پذیرش: 1397/01/20

### چکیده

شبیه‌سازی با استفاده از مدل‌های گیاهی نیازمند داده‌های بلند مدت و با کیفیت آب و هوایی است. در بسیاری از مناطق این داده‌ها با کیفیت مطلوب و یا دوره آماری مناسب در دسترس نمی‌باشند. لذا این مطالعه با هدف ارزیابی داده‌های AgMERRA در شبیه‌سازی نیاز آبی و عملکرد گندم دیم در استان خراسان رضوی به اجرا درآمد. در این پژوهش از داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک تربت جام، تربت حیدریه، سبزوار، سرخس، قوچان، کاشمر، گناباد، نیشابور و مشهد استفاده شد. داده‌های روزانه AgMERRA از پایگاه داده‌های سازمان فضایی آمریکا جمع‌آوری و سپس با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مقایسه قرار گرفتند. جهت شبیه‌سازی نیاز آبی و عملکرد گندم از مدل کراپوات و CSM-CERES-Wheat استفاده شد. نتایج نشان داد که تشعشع خورشیدی، دمای حداقل و حداکثر AgMERRA در تمامی مناطق همبستگی ( $r^2 > 0/7$ ) و توافق خوبی ( $NRMSE < 30\%$ ) با داده‌های مشاهداتی نشان داد. اما سرعت باد و بارندگی روزانه AgMERRA در توافق با مقادیر مشاهداتی متناظر نبود، با این وجود استفاده از مجموع بارندگی 15 روز سبب بهبود وضعیت توافق و همبستگی مشاهده شده در تمامی مناطق گردید. ضریب تغییرات نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA در تمامی مناطق به جز تربت جام، تربت حیدریه و گناباد برای نیاز آبی و مشهد، کاشمر و قوچان برای عملکرد نزدیک به (بین 5- تا 5+ درصد) ضریب تغییرات نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود. با این وجود انحراف میانگین بلند مدت نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA در تمامی مناطق به جز تربت حیدریه و گناباد برای نیاز آبی در بازه 10- تا 10+ درصد میانگین بلند مدت نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی قرار داشت. با توجه به نتایج حاصله می‌توان از داده‌های AgMERRA جهت برآورد میانگین بلند مدت نیاز آبی و عملکرد گندم دیم در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. با این وجود این مجموعه داده جهت شبیه‌سازی دقیق نیاز آبی و عملکرد در یک سال خاص زیاد قابل اعتماد نیست.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، داده‌های آب و هوایی، رگرسیون، مدل گیاهی

### مقدمه

میزان تغییرات آب و هوایی در سال، وجود حداقل 10 تا 20 سال داده آب و هوایی روزانه جهت برآورد قابل اطمینان عملکرد و تغییرپذیری آن ضروری است (18، 39 و 40). با این وجود در قسمت‌های زیادی از جهان که اکثراً با مسائلی همچون امنیت غذایی و آسیب‌پذیری به تغییر اقلیم مواجه هستند، نه تنها داده‌های آب و هوایی روزانه با دوره آماری مناسب در دسترس نبوده بلکه تمام متغیرهای لازم برای مدل‌های شبیه‌سازی گیاه زراعی را اندازه‌گیری نمی‌کنند (23 و 36). لذا داده‌های شبکه‌بندی شده یا داده‌های آب و هوایی تولید شده به عنوان جایگزینی در مناطقی که داده‌های آب و هوایی مشاهداتی در دسترس نیستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند (36).

تولید داده‌های آب و هوایی، با دقت مناسب یکی از اهداف اصلی مراکز پیش‌بینی و مدل‌سازی است (24). امروزه مراکز مهم همچون ناسا و نوآ و همچنین مراکز دانشگاهی، ملی و بین‌المللی (ECMWF)

برآورد نیاز آبی، عملکرد و تغییرپذیری آنها با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی، نیازمند دسترسی به داده‌های بلند مدت روزانه آب و هوایی است (7، 38 و 40). شبیه‌سازی نیاز آبی، عملکرد و بررسی تغییرپذیری آنها در تجزیه و تحلیل امنیت غذایی، ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر نمو و تولید گیاهان، توسعه و استفاده از ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری مدیریت محصول، آنالیز خلأ عملکرد و حمایت از تحقیقات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (41). بسته به

1، 2 و 3- به ترتیب دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، استاد و دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(\*) - نویسنده مسئول: (Email: banayan@um.ac.ir)  
DOI: 10.22067/jsw.v32i2.68948

AgMERRA دارای بهترین کارایی در بازتاب داده‌های بارندگی مشاهده‌ای در مقایسه با مجموعه داده‌های ERA-Interim<sup>3</sup>، ERA-Interim و JRA-55 بود.

ارزیابی و اعتبارسنجی داده‌های شبکه‌بندی شده آب و هوا به منظور شناخت کارایی و محدودیت آنها در نواحی مختلف به‌ویژه در مناطقی که تراکم ایستگاه‌های زمینی پایین است و یا داده‌های آب و هوایی با کیفیت مطلوب و دوره آماری مناسب در دسترس نمی‌باشند، امری ضروری است. همچنین داده‌های آب و هوایی زیربنای طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و مطالعات کاربردی در علوم کشاورزی است. لذا هدف از مطالعه حاضر معرفی و ارزیابی دقت داده‌های AgMERRA در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی و همچنین ارزیابی نیاز آبی و عملکرد گندم دیم شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA با نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای بود.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق استان خراسان رضوی واقع در مختصات جغرافیایی 33 درجه و 52 دقیقه تا 37 درجه و 42 دقیقه عرض شمالی و 56 درجه و 19 دقیقه تا 61 درجه و 16 دقیقه طول شرقی و با مساحتی حدود 116485 کیلومتر مربع است (شکل 1). در این پژوهش از داده‌های روزانه 9 ایستگاه سینوپتیک تربت جام، تربت حیدریه، سبزوار، سرخس، قوچان، کاشمر، گناباد، نیشابور و مشهد استفاده شد. متغیرهای آب و هوایی و دوره آماری مورد مطالعه مربوط به هر یک ایستگاه‌ها در جدول 1 ارائه شده است.

داده‌های روزانه AgMERRA برای دوره مورد مطالعه در هر منطقه با فرمت nc4 از پایگاه داده‌های سازمان فضایی آمریکا جمع‌آوری شد. پس از تعیین شبکه قرارگیری هر ایستگاه سینوپتیک، داده‌های مربوط به آن شبکه با استفاده از نرم‌افزار R استخراج گردید. سپس داده‌های استخراج شده با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مقایسه قرار گرفتند. عرض از مبدأ (b)، شیب (m) و ضریب تبیین ( $r^2$ ) رگرسیون خطی برای تخمین طول و اریبی روابط (41) و همچنین مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) برای اندازه‌گیری توافق بین داده‌ها (29) محاسبه گردید.

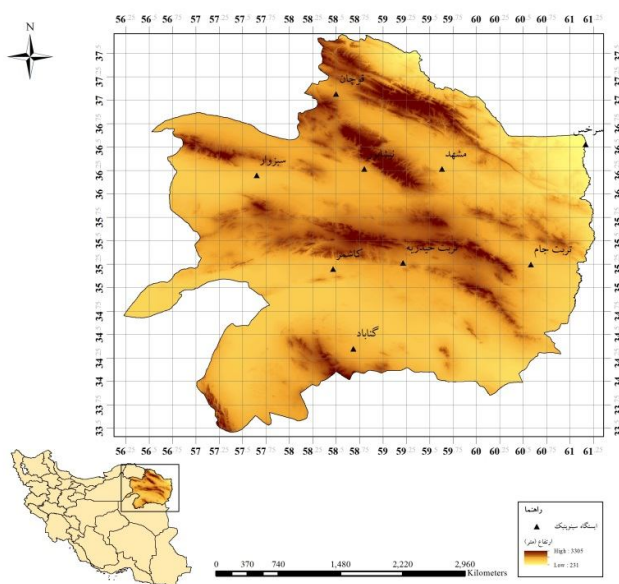
با استفاده از ابزارهای مختلف (GLDAS و CRU، GPCC (سنجده‌ها، مشاهدات میدانی، داده‌های ایستگاهی، داده‌های تاریخی و غیره) حجم قابل توجهی از داده‌های آب و هوایی را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی متفاوت در دسترس کاربران قرار داده‌اند (27). در این بین سازمان فضایی ملی ایالات متحده آمریکا<sup>1</sup> و دانشگاه کلمبیا در سال 2014 مجموعه داده‌ای را با هدف ایجاد شبکه‌ای جهانی و همگون برای استفاده در پژوهش‌های کشاورزی، امنیت غذایی و مدل‌های رشد گیاهی ارائه نمودند (24). این مجموعه داده که تحت عنوان AgMERRA نامیده شد حاصل تحلیل مجدد داده‌های ماهواره‌های MERRA<sup>2</sup>، PERSIANN و CMORPH (22) و داده‌های مشاهده شده از ایستگاه‌های سینوپتیک 2324 منطقه در نواحی مهم کشاورزی جهان می‌باشد. این مجموعه داده شامل متغیرهای اقلیمی مورد نیاز در مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی در مقیاس زمانی روزانه با قدرت تفکیک بالا (در حدود  $25 \times 25$  کیلومتر برای بارندگی، رطوبت نسبی در زمان حداکثر دما و سرعت باد،  $50 \times 50$  کیلومتر برای دمای حداقل و حداکثر و  $100 \times 100$  کیلومتر برای تشعشع خورشیدی) بوده که برای سال‌های 1980-2010 میلادی در دسترس می‌باشد (35).

در مطالعات بسیاری در زمینه کشاورزی از داده‌های آب و هوایی شبکه‌بندی شده استفاده شده است (5، 6، 15، 16، 17، 25، 26 و 27). با این حال باید توجه داشت که در تولید داده‌های آب و هوایی بلند مدت با پوشش جهانی منابع خطا می‌تواند باعث برآوردهای کمتر یا بیشتر عملکرد محصول و تغییرات آن در طول زمان شود (41). لذا با وجود کارایی زیاد مجموعه داده‌های آب و هوایی شبکه‌بندی شده، به منظور آگاهی از دقت آنها باید قبل از استفاده در مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار بگیرند. لشکری و همکاران (24) به بررسی امکان‌سنجی استفاده از پایگاه داده AgMERRA برای ساخت داده‌های ناقص و گمشده موجود در ایستگاه‌های سینوپتیک گلکان و مشهد پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مجموعه داده AgMERRA قدرت خوبی در تخمین داده‌های گمشده حداکثر و حداقل دمای روزانه دشت مشهد دارد. صالح نیا و همکاران (37) در برآورد شاخص‌های هواشناسی خشکسالی از دو منبع بارندگی AgMERRA و مشاهداتی ایستگاهی نشان دادند توافق خوبی بین بارندگی و شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر AgMERRA و داده‌های مشاهده‌ای در سه ایستگاه مشهد، قوچان و گلکان در سال‌های 1987 تا 2010 وجود داشت. کگلار و همکاران (9) نیز نشان دادند که مجموعه داده

1- National Aeronautics and Space Administration (NASA)

2- The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications

3- ERA, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Re-Analysis



شکل 1- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و سلول‌های منظم  $0/25 \times 0/25$  درجه داده‌های AgMERRA در منطقه مورد مطالعه  
 Figure 1- Location of synoptic stations and overlying regular gridded network  $0.25 \times 0.25$  degrees AgMERRA data in studied area

جدول 1- مشخصات، دوره آماری و متغیرهای آب و هوایی در دسترس ایستگاه‌های سینوپتیک  
 Table 1- Characteristics, available weather data period and variables for the meteorological stations

ایستگاه سینوپتیک Synoptic station	ارتفاع (متر) Elevation (m)	عرض جغرافیایی (درجه اعشار) Latitude (decimal degrees)	طول جغرافیایی (درجه اعشار) Longitude (decimal degrees)	اقلیم Climate	دوره آماری Weather data period	متغیرهای آب و هوایی در دسترس Available weather variables
تربت جام Torbat Jam	950.40	35.25	60.58	نیمه خشک Semi-arid	1993-2010	$T_{max}$ , $T_{min}$ , Srad, prat, wndspd
تربت حیدریه Tobat Heydarieh	1450.80	36.27	59.22	نیمه خشک Semi-arid	1982-2010	$T_{max}$ , $T_{min}$ , Srad, prat
سبزوار Sabzevar	972.00	36.20	57.65	نیمه خشک Semi-arid	1982-2010	$T_{max}$ , $T_{min}$ , Srad, prat, wndspd
سرخس Sarakhs	235.00	36.53	61.17	معتدل Temperate	1991-2010	$T_{max}$ , $T_{min}$ , Srad, prat
قوچان Ghoochan	1287.00	37.07	58.50	معتدل Temperate	1991-2010	$T_{max}$ , $T_{min}$ , Srad, prat, wndspd
کاشمر Kashmar	1109.70	35.20	58.47	نیمه خشک Semi-arid	1991-2010	$T_{max}$ , $T_{min}$ , Srad, prat, wndspd
گناباد Gonabad	1056.00	34.35	58.68	خشک Arid	1991-2010	$T_{max}$ , $T_{min}$ , Srad, prat
مشهد Mashhad	999.20	36.27	59.63	معتدل Temperate	1980-2010	$T_{max}$ , $T_{min}$ , Srad, prat, wndspd
نیشابور Neyshabour	1213.00	36.27	58.80	نیمه خشک Semi-arid	1992-2010	$T_{max}$ , $T_{min}$ , Srad, prat, wndspd

$T_{max}$ ,  $T_{min}$ , Srad, prat و wndspd به ترتیب بیانگر دمای حداکثر، دمای حداقل، تشعشع خورشیدی، بارندگی و سرعت باد می‌باشند  
 $T_{max}$ ,  $T_{min}$ , Srad, prat and wndspd are maximum temperature, minimum temperature, solar radiation, precipitation and wind speed, respectively

محاسبه تبخیر و تعرق مرجع استفاده می‌کند (1) اما در این مطالعه با توجه به محدودیت داده‌های اقلیمی، تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از مدل RefET و بر اساس روش پریستلی تیلور (33) محاسبه گردید و به عنوان ورودی مدل کراپ وات استفاده شد. قبلاً اعتبار سنجی این روش برای مناطق مورد مطالعه در شرایط محدودیت داده‌های اقلیمی توسط محققان انجام شده است (11). تاریخ کاشت محصول از کشاورزان محلی و سازمان جهاد کشاورزی مناطق مورد مطالعه اخذ گردید. طول دوره رشد گندم از نشریه 56 آبیاری و زه‌کشی فائو (1)، برای هر یک از مراحل چهارگانه رشد (مرحله ابتدایی، مرحله رشد و توسعه گیاه، مرحله میانی و مرحله نهایی) استخراج شد. ضریب گیاهی ( $K_c$ ) مربوط به هر یک از مراحل رشد گندم نیز از جدول ارائه شده توسط فائو (1) استخراج گردید (ضرایب گیاهی مربوط به مراحل اولیه رشد ( $K_{c\text{ini}}$ )، میانی رشد ( $K_{c\text{mid}}$ ) و پایانی رشد ( $K_{c\text{end}}$ ) به ترتیب 0/4، 1/15 و 0/25 بودند).

تبخیر و تعرق گیاه که به عنوان نیاز آبی گیاه ( $CWR^1$ ) در نظر گرفته می‌شود (44) به عمق آب مورد نیاز برای جبران تلفات آب از طریق تبخیر و تعرق گیاه (گیاهی که در شرایط پتانسیل و بدون محدودیت آب و مواد غذایی و در محیطی عاری از آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز رشد یافته است) اطلاق می‌گردد (20). در مدل کراپ وات، نیاز آبی گندم (ET<sub>c</sub>) به وسیله ضرب ضریب گیاهی در تبخیر و تعرق مرجع (ET<sub>o</sub>) در مراحل رشدی مختلف و با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌گردد.

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (3)$$

جهت شبیه‌سازی عملکرد گندم از مدل CSM-CERES-Wheat<sup>2</sup> موجود در بسته نرم‌افزاری 4.6 DSSAT (19) استفاده شد.

این مدل رشد و نمو گیاه را در مقیاس زمانی روزانه شبیه‌سازی می‌نماید. در این مطالعه از ضرایب ژنتیکی رقم سرداری که قبلاً توسط عیسی رضائی و بنایان (13) و بنایان و همکاران (3) کالیبره و ارزیابی شده بود برای اجرای مدل CSM-CERES-Wheat استفاده شد (جدول 1). ورودی مورد نیاز برای اجرای این مدل علاوه بر ضرایب ژنتیکی رقم مورد مطالعه، ویژگی‌های خاک، مسائل مدیریتی و متغیرهای اقلیمی است (4). اطلاعات مربوط به خاک (مانند بافت خاک، شوری، اسیدیته، ماده آلی) و مسائل مدیریتی (مانند تاریخ کاشت، تراکم کاشت، فاصله ردیف، مقدار و زمان مصرف نهاده‌ها) نیز از کشاورزان محلی و سازمان جهاد کشاورزی در مناطق مورد مطالعه جمع‌آوری گردید. سپس عملکرد گندم دیم با استفاده از داده‌های آب

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2} \quad (1)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{X_{obs,max} - X_{obs,min}} \quad (2)$$

در این معادلات، n تعداد روز مشاهداتی،  $X_{obs,i}$  مقدار متغیر مشاهده شده برای روز نام و  $X_{model,i}$  مقدار متغیر شبیه‌سازی شده (AgMERRA) برای روز نام،  $X_{obs,max}$  حداکثر و  $X_{obs,min}$  حداقل مقدار متغیر مشاهده شده می‌باشد.

از آنجایی که مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط دیم حساسیت زیادی به مقدار کل بارش و توزیع آن در طول چند هفته نسبت به بارش در مقیاس زمانی روزانه دارد (41)، مقایسه بارندگی AgMERRA با بارندگی مشاهداتی در سه مقیاس زمانی روزانه، 15 روز و ماهانه انجام شد. همچنین فراوانی روزهای خشک کاذب (یعنی یک رویداد بارندگی در داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA گزارش نشده است در حالی که در داده‌های آب و هوایی مشاهداتی ثبت شده است) و مرطوب کاذب (یعنی یک رویداد بارندگی در داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA گزارش شده است در حالی که در داده‌های آب و هوایی مشاهداتی ثبت نشده است) در داده‌های AgMERRA نیز محاسبه گردید. با توجه به عدم قطعیت در داده‌های بارندگی اندازه‌گیری شده و اثرات نسبی کم رویدادهای بارندگی خیلی کوچک بر عملکرد شبیه‌سازی شده، تنها رویدادهای بارندگی بیشتر از شش میلی‌متر برای تجزیه و تحلیل روزهای مرطوب و خشک در نظر گرفته شد (36).

برای هر متغیر آب و هوایی در صورتی که همبستگی قوی ( $r^2 > 0/7$ ) اما توافق ضعیف ( $NRMSE > 30\%$ ) یا اریبی ( $m < 0/8$  یا  $m > 1/2$ ) و  $b < 2$  درصد میانگین مشاهدات) مشاهده شود، باید تصحیح بر روی داده‌های شبکه‌بندی شده صورت گیرد (41). نتایج حاصل از مقایسه داده‌های AgMERRA و مشاهداتی مورد بررسی قرار گرفت، با توجه به همبستگی قوی ( $r^2 > 0/7$ ) و توافق خوب با داده‌های آب و هوایی مشاهداتی ( $NRMSE < 30\%$ ) همراه با اریبی کم ( $m < 1/2$ ) یا  $b > 2$  درصد میانگین داده‌های آب و هوایی مشاهداتی) بین داده‌های مشاهداتی و AgMERRA، داده‌های AgMERRA به طور مستقیم برای شبیه‌سازی نیاز آبی و عملکرد گندم استفاده شد.

نیاز آبی گندم با استفاده از مدل کراپ وات (14) برای هر منطقه برآورد گردید. داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل شامل داده‌های اقلیمی یا تبخیر و تعرق مرجع، مجموع بارندگی ماهانه و اطلاعات مربوط به محصول (یعنی تاریخ کاشت، طول مراحل مختلف رشد گیاه و ضرایب گیاهی) می‌باشد. کراپ وات از روش پنمن مونتیث فائو برای

1- Crop water requirement

2- Cropping System Model-Crop Environment Resource Synthesis-Wheat

حداقل و حداکثر مشاهداتی بود. وایت و همکاران (42) اریبی متفاوتی بین دمای ناسا و مشاهداتی به دست آوردند و بیان داشتند که این امر می‌تواند به تغییر در ارتفاع، موقعیت چشم‌اندازها، حضور بدنه‌ای از آب‌های بزرگ یا مشکلات مدل‌های شبیه‌سازی استفاده شده برای استخراج دمای ناسا مربوط باشد.

در بین تمامی مناطق کمترین میزان توافق برای هر سه پارامتر در شهرستان تربت حیدریه حاصل شد (جدول 2). دلیل این امر می‌تواند به شرایط توپوگرافی این منطقه مربوط باشد. به طور کلی مقدار هر یک از داده‌های شبکه‌بندی شده میانگین مناطق مختلف موجود در هر شبکه است (42). لذا زمانی که در یک شبکه توپوگرافی یکنواخت نباشد به‌ویژه در مناطق کوهستانی، داده یک ایستگاه به طور قابل توجهی متفاوت از میانگین گزارش شده برای آن شبکه (که ایستگاه هواشناسی در آن قرار دارد) خواهد بود. وان وارت و همکاران (41)، وان وارت و همکاران (40) و بای و همکاران (2) نیز توافق خوبی بین داده‌های ناسا و مشاهداتی برای مناطق با توپوگرافی نسبتاً مسطح و توافق ضعیف را در مناطق با توپوگرافی ناهمگن گزارش نمودند.

از 9 منطقه مورد مطالعه، داده‌های مشاهداتی سرعت باد تنها برای مناطق تربت جام، سبزوار، قوچان، کاشمر، مشهد و نیشابور برای دوره آماری مورد مطالعه مربوط به هر ایستگاه (جدول 1) در دسترس بودند. نتایج مقایسه این پارامتر از مجموعه داده AgMERRA با مقادیر متناظر مشاهداتی آن بیانگر همبستگی ضعیفی (یعنی میانگین  $r^2$  برای شش منطقه 0/18) بین این داده‌ها بود با این وجود میانگین مقادیر RMSE و NRMSE برای شش منطقه به ترتیب 1/87 متر بر ثانیه و 17/49 درصد بود (جدول 3). علی‌رغم توافق قابل قبول، با توجه به همبستگی ضعیف مشاهده شده نمی‌توان از داده‌های سرعت باد AgMERRA در هیچ یک از شش مناطق مورد بررسی حتی با انجام تصحیح به عنوان جایگزینی برای مقادیر مشاهداتی استفاده نمود.

داده‌های بارندگی روزانه AgMERRA توافق خوب (میانگین RMSE و NRMSE برای تمامی مناطق به ترتیب 2/25 میلی‌متر و 4/94 درصد)، اما همبستگی ضعیف (میانگین  $r^2$  برای تمامی مناطق 0/34) و اریبی بزرگی (m برای اکثر مناطق کمتر از 0/8 و b در تمامی مناطق بیشتر از 2 درصد میانگین مشاهدات) با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک متناظر نشان داد (جدول 4). علت این امر را می‌توان به تغییرات زیاد خصوصیات بارندگی از جمله شدت و مقدار آن حتی در حوضه‌های کوچک (12) مرتبط دانست. به طوری که پیلگریم و همکاران (1998) نیز بیان داشتند بررسی رفتار بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک حاکی از تغییرات مکانی و زمانی زیاد بارندگی در این مناطق می‌باشد.

و هوایی مشاهداتی و شبکه‌بندی شده AgMERRA برای هر یک از مناطق مورد مطالعه و دوره آماری بیان شده در جدول 1 شبیه‌سازی گردید.

از ضریب تغییرات و نمودار جعبه‌ای جهت مقایسه توزیع و پراکندگی نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA با نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی استفاده شد. انحراف میانگین بلند مدت نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA از میانگین بلند مدت نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی نیز برای هر یک از مناطق مورد مطالعه محاسبه گردید. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار R صورت گرفت.

## نتایج و بحث

تشعشع خورشیدی AgMERRA در تمامی مناطق همبستگی و توافق خوبی با داده‌های مشاهداتی نشان داد (جدول 2). به طوری که میانگین  $r^2$ ، RMSE و NRMSE برای تمامی مناطق به ترتیب 0/85، 3/72 مگاژول بر متر مربع در روز و 16/16 درصد بود. با این وجود مقدار اریبی (b) بین 0/91- تا 2/20 متغیر بود و تشعشع خورشیدی AgMERRA در تمامی مناطق به جز سبزوار و نیشابور بیشتر از مقادیر مشاهداتی بود. بای و همکاران (2) نیز توافق خوبی بین داده‌های تشعشع خورشیدی ناسا و مشاهداتی با  $r^2=0/80$  و  $M_j$   $d^{-1} m^{-2} RMSE=3/41$  مشاهده نمودند اما تشعشع خورشیدی ناسا در 28 درصد از مناطق مورد مطالعه آنها که دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک بودند کمتر از مقادیر مشاهداتی بود.

در تمامی مکان‌ها مشابه تشعشع خورشیدی، دمای حداکثر و حداقل AgMERRA همبستگی قوی (میانگین  $r^2$  برای تمامی مناطق به ترتیب 0/95 و 0/89) و توافق خوبی (میانگین RMSE برای تمامی مناطق به ترتیب 2/81 و 3/08 مگاژول بر متر مربع در روز) با دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی نشان داد (جدول 2). لشکری و همکاران (24) در بررسی اعتبارسنجی داده‌های AgMERRA با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک متناظر نشان دادند که این مجموعه داده در شبیه‌سازی حداکثر و حداقل دمای روزانه و بارندگی در هر دو ایستگاه مشهد و گل‌مکان از قدرت بالایی برخوردار بودند. در تمامی مناطق به جز تربت حیدریه، سبزوار و نیشابور جهت اریبی دمای حداکثر متفاوت از جهت اریبی دمای حداقل بود (جدول 2). به طور مثال در گناباد دمای حداکثر AgMERRA 1/33 درجه سانتی‌گراد کمتر از مشاهداتی بود در حالی که دمای حداقل AgMERRA در این منطقه 0/39 درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای حداقل مشاهداتی بود. در مقابل در شهرستان تربت حیدریه هر دو دمای حداقل و حداکثر AgMERRA در حدود 4/2 درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای

جدول ۲- مقایسه تشعشع خورشیدی، دمای حداکثر و حداقل روزانه AgMERRA با مقادیر مشاهداتی متناظر در مناطق مورد مطالعه  
 Table 2- Comparison of AgMERRA versus observed daily solar radiation, minimum and maximum temperature in the studied areas

مکان Site	تشعشع خورشیدی Solar radiation						دمای حداکثر Maximum temperature						دمای حداقل Minimum temperature					
	b	m	r <sup>2</sup>	RMS	NRMS	Obs. mean	b	m	r <sup>2</sup>	RMS	NRMS	Obs. mean	b	m	r <sup>2</sup>	RMS	NRMS	Obs. mean
تربت جام Torbat Jam	1.21	0.8	0.8	2.44	10.84	17.13	-	0.9	0.9	2.84	5.36	22.69	0.1	0.9	0.8	3.21	5.84	8.96
تربت خیریه Tobat	2.20	0.8	0.7	5.52	19.31	13.06	4.20	0.9	0.9	4.01	8.34	20.77	4.2	1.0	0.8	5.44	11.77	7.66
Heydarieh	-	1.0	0.7	4.08	13.93	18.24	0.72	0.9	0.9	2.14	4.12	24.68	0.8	1.0	0.9	2.68	5.12	11.62
Sabzevar	0.91	0.9	0.7	4.08	13.93	18.24	0.72	0.9	0.9	2.14	4.12	24.68	0.8	1.0	0.9	2.68	5.12	11.62
سرخس Saraks	1.44	0.8	0.9	4.46	24.66	13.15	-	1.0	0.9	2.35	4.09	25.12	0.6	0.9	0.9	2.47	4.53	11.43
قوچان Ghoochan	1.49	0.8	0.8	2.45	10.77	15.96	-	0.9	0.9	2.45	4.71	19.50	0.2	0.9	0.8	2.80	5.67	6.28
کاشمر Kashmar	0.82	0.9	0.9	2.13	9.70	17.22	-	0.9	0.9	3.23	6.48	23.75	0.0	0.9	0.9	2.47	5.23	12.08
گیاباد Gonabad	0.79	0.8	0.9	5.07	28.69	14.25	-	0.9	0.9	3.23	6.03	23.97	0.3	0.9	0.9	2.50	5.09	11.04
مشهد Mashhad	1.08	0.8	0.8	3.28	13.25	15.43	-	0.9	0.9	2.50	4.60	21.76	0.7	0.9	0.8	2.90	5.87	8.36
نیشابور Neyshabour	-	1.1	0.8	4.07	14.31	19.73	1.50	0.9	0.9	2.51	5.11	22.11	0.5	0.8	0.8	3.29	6.53	6.88

b, m, r<sup>2</sup>, RMSE, NRMSE and Obs. mean are intercept, slope, coefficient of determination, root mean square error, normalized root mean square error and observed mean, respectively

جدول 3- مقایسه سرعت باد AgMERRA با مقادیر مشاهداتی متناظر در مناطق مورد مطالعه  
 Table 3- Comparison of AgMERRA versus observed wind speed in the studied areas

مکان Site	b	m	r <sup>2</sup>	RMSE	NRMSE	Obs. mean
تربت جام Torbat Jam	0.76	0.90	0.48	1.68	13.55	4.00
تربت حیدریه Tobat Heydarieh	-	-	-	-	-	-
سبزوار Sabzevar	1.55	0.61	0.18	1.73	14.02	3.12
سرخس Sarakhs	-	-	-	-	-	-
قوچان Ghoochan	1.30	0.20	0.02	1.82	18.47	1.78
کاشمر Kashmar	0.27	0.38	0.20	2.05	22.31	1.37
گناباد Gonabad	-	-	-	-	-	-
مشهد Mashhad	1.68	0.33	0.06	1.93	10.49	2.54
نیشابور Neyshabour	0.45	0.30	0.11	2.03	26.07	1.28

Obs. mean و NRMSE، RMSE،  $r^2$ ، m، b به ترتیب بیانگر عرض از مبدأ، شیب، ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده و میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشند

b, m, r<sup>2</sup>, RMSE, NRMSE and Obs. mean are intercept, slope, coefficient of determination, root mean square error, normalized root mean square error and observed mean, respectively

در تمامی مناطق مجموع بارندگی AgMERRA در مقیاس زمانی 15 روز همبستگی خوب ( $r^2$  بیشتر از 0/7) و اریبی کمی ( $m < 0/8$ ) (جدول 4). در نظر گرفتن مقیاس زمانی ماهانه در مقایسه بارندگی AgMERRA با مشاهداتی سبب افزایش مقادیر RMSE و NRMSE (میانگین RMSE و NRMSE برای تمامی مناطق به ترتیب 10/56 میلی‌متر و 8/17 درصد) و وضعیت بدتر مقادیر b و m نسبت به مقیاس زمانی 15 روز گردید. با این وجود همبستگی (میانگین  $r^2$  برای تمامی مناطق به ترتیب 0/85) خوبی بین بارندگی ماهانه AgMERRA با داده‌های مشاهداتی وجود داشت (جدول 4). با توجه به نتایج به دست آمده در بین مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه نتایج حاصل از ارزیابی بارندگی AgMERRA و مشاهداتی در مقیاس زمانی 15 روز وضعیت مطلوب‌تری را نشان داد (جدول 4).

فراوانی روزهای مرطوب و خشک کاذب در داده‌های AgMERRA در جدول 5 نشان داده شده است. میانگین فراوانی روزهای مرطوب و خشک کاذب در تمامی مناطق به ترتیب 0/56 و 0/49 درصد بود. بیشترین و کمترین فراوانی روزهای مرطوب کاذب به ترتیب با 1/51 و 0/27 درصد در ایستگاه‌های تربت حیدریه و سرخس مشاهده گردید.

در مطالعه لشکری و همکاران (15) نیز مقادیر RMSE حاکی از کارایی بالای مدل برای دوره 1980 تا 2010 در مشهد و گلکان بود اما مقدار  $r^2$  به دست آمده گویای این حالت نبود. با این وجود صالح‌نیا و همکاران (37) در مطالعه تخمین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی با استفاده از داده‌های AgMERRA و مشاهداتی نشان دادند که داده‌های بارندگی روزانه AgMERRA و مشاهداتی در دوره 1987 تا 2010 در ایستگاه‌های مشهد و قوچان، توافق خوبی با مقادیر مشاهداتی داشتند ( $r^2$  به ترتیب 0/90 و 0/84).

از آنجایی که همبستگی ضعیف و اریبی بزرگی بین داده‌های بارندگی روزانه AgMERRA با داده‌های مشاهداتی به دست آمد و با توجه به این که مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط دیم حساسیت زیادی به مقدار کل بارش و توزیع آن در طول چند هفته نسبت به بارش در مقیاس زمانی روزانه دارد (41)، جهت بررسی امکان استفاده از داده‌های بارندگی AgMERRA در شبیه‌سازی عملکرد، مقایسه بین بارندگی AgMERRA و مشاهداتی در دو مقیاس زمانی 15 روز و ماهانه نیز انجام شد (جدول 4). میانگین RMSE و NRMSE حاصل از مقایسه مجموع بارندگی AgMERRA در مقیاس زمانی 15 روز با بارندگی مشاهداتی برای تمامی مناطق به ترتیب 7/54 میلی‌متر و 7/85 درصد بود (جدول 4).

جدول ۴- مقایسه بارندگی روزانه، پانزده روز و ماهانه AgMERRA با مقادیر مشاهداتی متناظر در مناطق مورد مطالعه  
 Table 4- Comparison of AgMERRA versus observed daily, 15 days and monthly precipitation (prate) in the studied areas

مکان Site	بارندگی روزانه Prat-daily				بارندگی ۱۵ روز Prat-15 days				بارندگی ماهانه Prat-monthly							
	b	m	r <sup>2</sup>	RMSE	Obs. mean	b	m	r <sup>2</sup>	RMSE	Obs. mean	b	m	r <sup>2</sup>	RMSE	Obs. mean	
تربت جام Torbat Jam	0.15	0.66	0.31	2.02	4.28	0.47	-0.13	0.98	0.73	6.42	8.77	-1.38	1.05	0.84	7.96	7.41
تربت حیدریه Torbat Heydarieh	0.22	0.39	0.23	3.01	5.56	0.56	0.25	0.81	0.69	10.18	13.82	-2.32	0.79	0.72	17.66	12.32
سبزوار Sabzevar	0.16	0.74	0.38	1.92	4.74	0.52	-0.15	1.09	0.77	6.51	5.39	-1.94	1.20	0.87	8.34	5.73
سرخس Sarakhsh	0.14	0.83	0.47	1.74	3.95	0.53	-0.21	1.14	0.86	5.09	6.93	-1.54	1.22	0.93	6.70	6.46
قوچان Ghoochan	0.38	0.69	0.33	2.62	5.69	0.87	1.51	1.07	0.71	9.29	6.97	-1.24	1.26	0.84	12.99	8.63
کاشمر Kashmar	0.20	0.77	0.28	2.22	4.72	0.54	-0.23	1.20	0.70	8.51	8.26	-2.04	1.36	0.84	11.27	8.70
گناباد Gonabad	0.19	0.42	0.18	2.09	4.47	0.37	-0.52	0.91	0.71	6.13	6.79	-1.93	0.98	0.80	8.33	8.57
مشهد Mashhad	0.19	0.87	0.49	2.04	3.93	0.70	0.30	1.16	0.83	6.85	6.02	-1.40	1.20	0.93	9.15	7.06
نیشابور Neyshabour	0.19	0.51	0.40	2.55	7.09	0.64	-0.42	0.80	0.80	8.90	8.26	-2.59	0.82	0.87	12.67	8.63

b, m, r<sup>2</sup>, RMSE, NRMSE and Obs. mean are intercept, slope, coefficient of determination, root mean square error, normalized root mean square error and observed mean, respectively



جدول 5- فراوانی روزهای مرطوب و خشک کاذب در داده‌های آب و هوایی شبکه‌بندی شده AgMERRA در مناطق مورد مطالعه

Table 5- Frequency of false wet and false dry days in AgMERRA gridded weather data in the studied areas

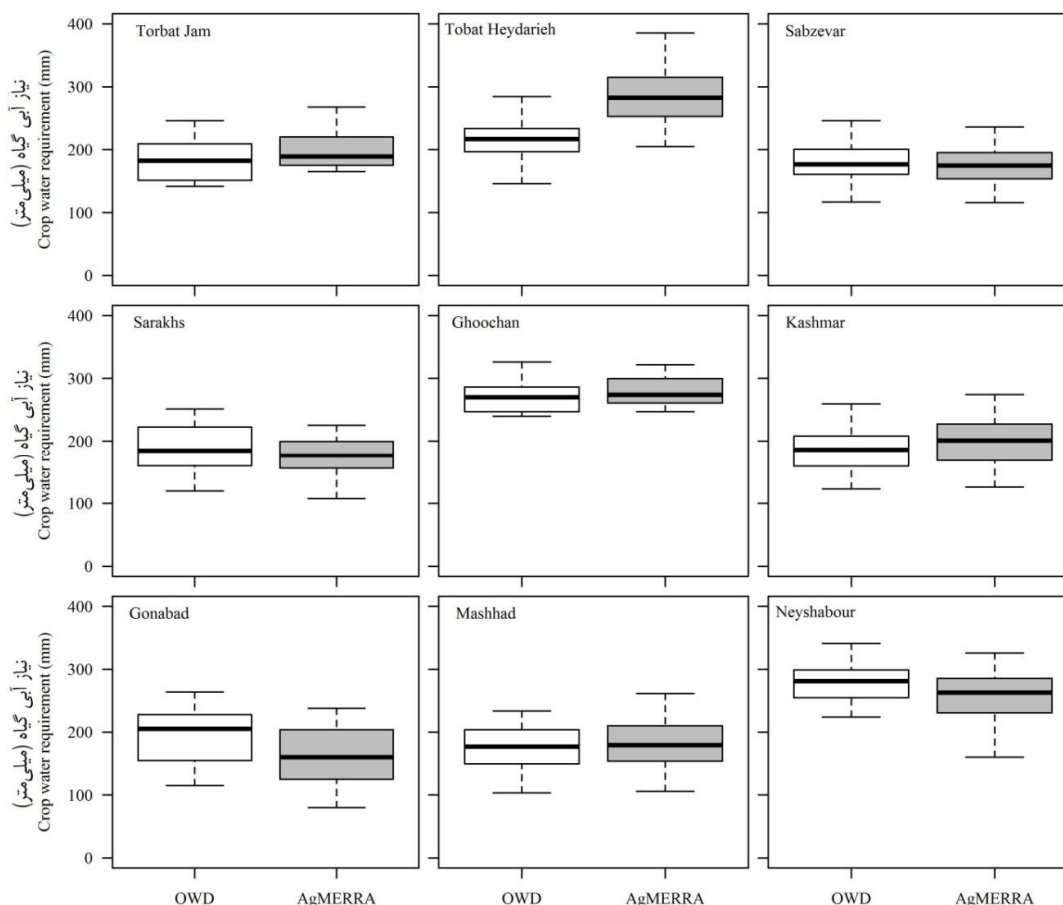
مکان Site	روز مرطوب کاذب (درصد) False wet days %	روز خشک کاذب (درصد) False dry days %
ترت جام Torbat Jam	0.44	0.31
ترت حیدریه Tobat Heydarieh	1.51	0.65
سبزوار Sabzevar	0.39	0.48
سرخس Sarakhsh	0.27	0.32
قوچان Ghoochan	0.36	0.70
کاشمر Kashmar	0.51	0.62
گناباد Gonabad	0.39	0.30
مشهد Mashhad	0.11	0.57
نیشابور Neyshabour	1.02	0.63

حیدریه و گناباد خارج از محدوده قابل پذیرش 5- تا 5+ درصد (41) قرار داشت (شکل 3). به طور کلی می‌توان بیان نمود که استفاده از داده‌های AgMERRA نتوانست تغییرات درون سالی نیاز آبی در این مناطق را به خوبی نشان دهد.

نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA در مناطق ترت جام، ترت حیدریه، سبزوار، کاشمر و مشهد بیشتر از نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود (شکل 4). به طوری که میزان انحراف میانگین نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA از نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی برای این مناطق به ترتیب 9/07، 28/54، 7/22، 6/90 و 3/95 درصد بود. در قوچان میانگین نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA و مشاهداتی بسیار به هم نزدیک بودند (انحراف 1/67 درصد) و در مابقی مناطق نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA کمتر از مشاهداتی بود. میزان انحراف نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA از نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی نیز برای تمام مناطق به جز ترت حیدریه و گناباد در بازه قابل پذیرش 10- تا 10+ درصد (41) قرار داشت. این امر می‌تواند به دلیل تفاوت بیشتر مقادیر تشعشع خورشیدی، دمای حداکثر و حداقل AgMERRA با مقادیر مشاهداتی در ترت حیدریه و گناباد نسبت به سایر مناطق باشد (جدول 2).

با این وجود شهرستان‌های قوچان و ترت جام به ترتیب با میانگین 0/70 و 0/31 درصد بیشترین فراوانی روزهای خشک کاذب را به خود اختصاص دادند. با توجه به نتایج حاصله می‌توان بیان نمود که توزیع داده‌های بارندگی AgMERRA نزدیک به توزیع داده‌های بارندگی مشاهداتی بود. لشکری و همکاران (24) بیان داشتند که اگرچه داده‌های AgMERRA تلفیقی از داده‌های جمع‌آوری شده از سطح ایستگاه‌های زمین مرجع می‌باشد، با این وجود مسئله عدم تخمین دقیق توزیع بارندگی هنوز به قوت خود باقی مانده است.

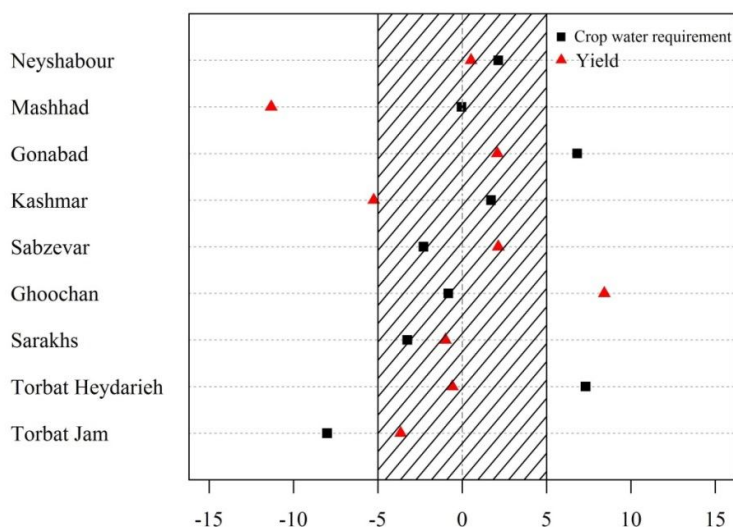
شکل 2 نیاز آبی گندم دیم شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی و AgMERRA را نشان می‌دهد. بر مبنای داده‌های مشاهداتی میانگین بلندمدت نیاز آبی در کل منطقه مورد مطالعه 207/04 میلی‌متر بود. به طوری که شهرستان مشهد و نیشابور به ترتیب با میانگین 174/65 و 270/07 میلی‌متر به ترتیب کمترین و بیشترین نیاز آبی را دارا بودند. پراکندگی نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA و مشاهداتی (با توجه به طول جعبه) تنها برای مناطق سبزوار، قوچان، گناباد و مشهد نزدیک به هم بود اما نحوه توزیع، حداقل و حداکثر نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA در تمامی مناطق متفاوت از مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود (شکل 2). با این وجود تفاوت ضریب تغییرات نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA از ضریب تغییرات نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی تنها برای مناطق ترت جام، ترت



شکل 2- نمودار جعبه‌ای نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های آب و هوایی مشاهداتی (OWD) و AgMERRA در مناطق مورد مطالعه  
Figure 2- Box plots of simulated crop water requirement during growth season of rainfed wheat using observed weather data (OWD) and AgMERRA in the studied areas

شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود. با توجه به این‌که طول جعبه، دامنه چارکی یعنی 50 درصد میانی نمرات را نشان می‌دهد، تنها در مناطق سرخس، قوچان و گناباد پراکندگی عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA و مشاهداتی مشابه یکدیگر بود. با این وجود ضریب تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA در اکثر مناطق مشابه ضریب تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود (شکل 3). به طوری که ضریب تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA تنها برای قوچان و مشهد خارج از محدوده قابل پذیرش 5- تا 5+ درصد ضریب تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی و برای کاشمر در نزدیک این محدوده قرار داشت (شکل 3). لذا در بررسی تغییر پذیری عملکرد بهتر است با احتیاط و شاید پس از انجام تصحیحات با روش‌های تصحیح آریبی موجود از این مجموعه داده استفاده نمود.

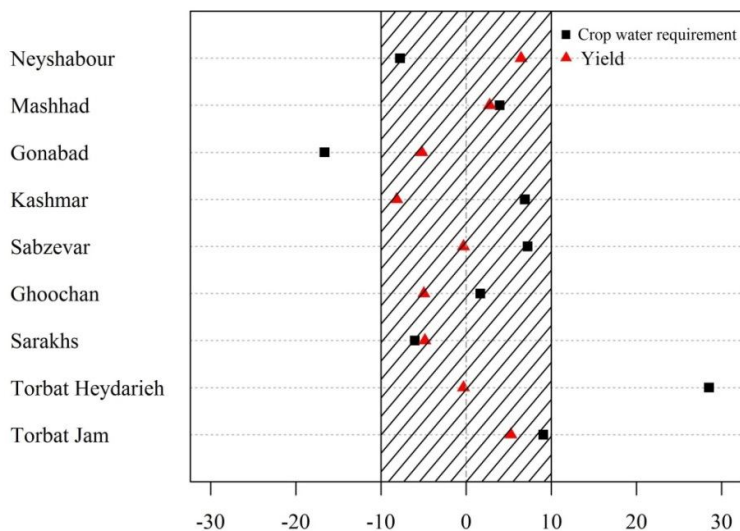
شکل 5 عملکرد گندم شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی و AgMERRA را نشان می‌دهد. میانگین عملکرد گندم دیم در کل منطقه مورد مطالعه 415/35 کیلوگرم در هکتار بود. شهرستان گناباد با میانگین حدود 225 کیلوگرم در هکتار و قوچان با 540 کیلوگرم در هکتار به ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکرد را دارا بودند. توزیع و پراکندگی عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA در اکثر مناطق مورد مطالعه متفاوت از عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود (شکل 5). حداکثر عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA در تربت جام بیشتر و در قوچان، گناباد و مشهد کمتر از حداکثر عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود. در مابقی مناطق این دو عملکرد به یکدیگر نزدیک بودند. با این وجود حداقل عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA در تمامی موارد متفاوت از حداقل عملکرد شبیه‌سازی



تفاوت از ضریب تغییرات شبیه‌سازی‌های انجام شده با استفاده از OWD (%)  
 Difference from CV of simulations made using OWD (%)

شکل 3- تفاوت ضریب تغییرات نیاز آبی/عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های آب و هوایی AgMERRA از ضریب تغییرات شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های آب و هوایی مشاهداتی (OWD) در مناطق مورد مطالعه

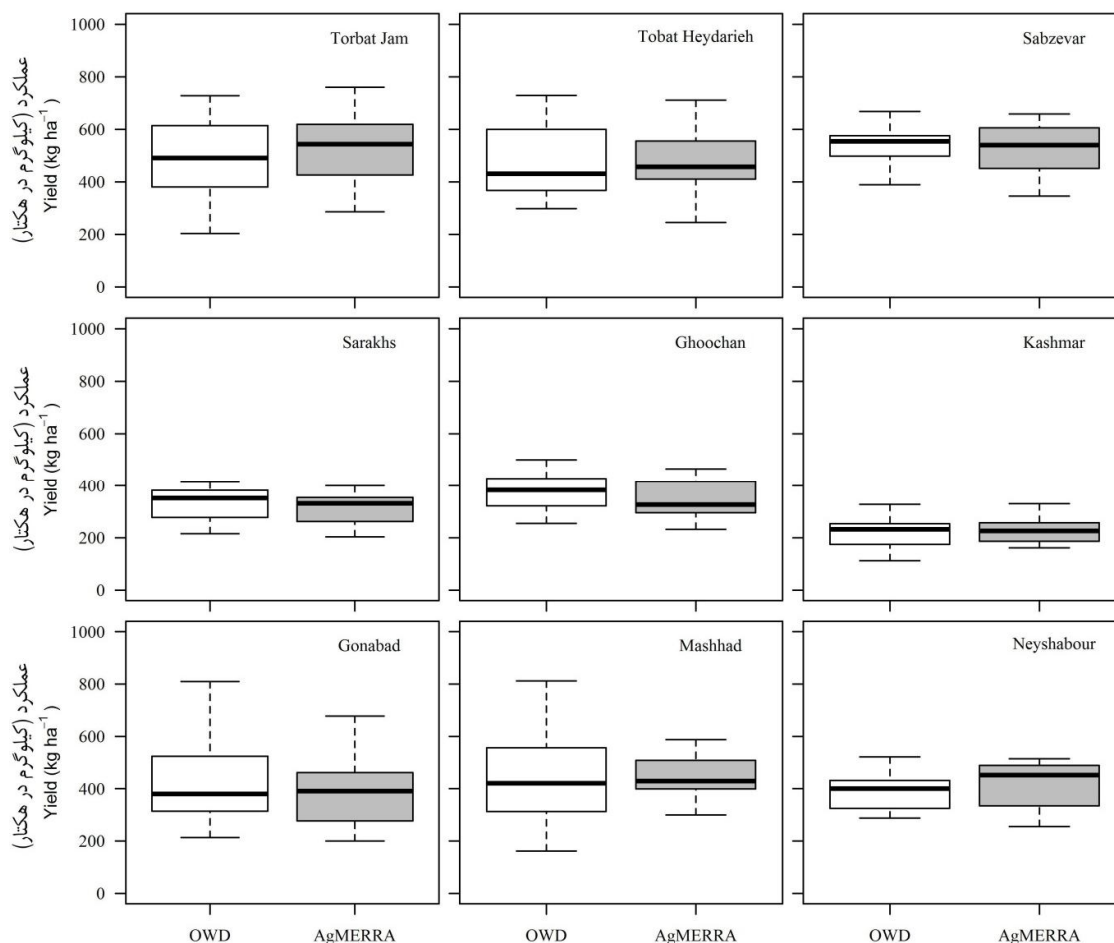
Figure 3- Deviation inter-annual coefficient of variation (CV) in crop water requirement/yield simulated with AgMERRA weather data from long-term average CV simulated entirely with OWD in the studied areas



انحراف از میانگین بلند مدت عملکرد/ نیاز آبی شبیه‌سازی شده با استفاده از OWD (%)  
 Deviation from long-term average simulated crop water requirement/yield using OWD (%)

شکل 4- انحراف میانگین بلند مدت نیاز آبی/عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های آب و هوایی AgMERRA از میانگین بلند مدت شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های آب و هوایی مشاهداتی (OWD) در مناطق مورد مطالعه

Figure 4- Deviation of long-term average crop water requirement/yield simulated with AgMERRA weather data from long-term average simulated entirely with OWD in the studied areas



شکل 5- نمودار جعبه‌ای عملکرد شبیه‌سازی شده گندم دیم با استفاده از داده‌های آب و هوایی مشاهداتی (OWD) و AgMERRA در مناطق مورد مطالعه

Figure 5- Box plots of simulated yield of rainfed wheat using observed weather data (OWD) and AgMERRA in the studied areas

که ناشی از توپوگرافی غیر یکنواخت و پیچیده مناطق مورد مطالعه بوده است (2، 40، 41 و 42). انحراف میانگین بلند مدت عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA از میانگین بلند مدت عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی در تمامی مناطق در بازه 10- تا 10+ درصد قرار داشت. این امر بیانگر قابلیت خوب داده‌های AgMERRA جهت برآورد میانگین بلند مدت عملکرد گندم دیم در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. وان وارت و همکاران (41) در مطالعه‌ای بر روی داده‌های شبکه‌بندی شده پروژه پاور ناسا بیان داشتند که عملکرد شبیه‌سازی شده گندم، برنج و ذرت در 33 و 22 درصد از مناطق مورد مطالعه به ترتیب بیشتر و کمتر از بازه 10- تا 10+ درصد عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی قرار داشت.

میانگین بلند مدت عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA در مناطق تربت جام، مشهد و نیشابور بیشتر از میانگین بلند مدت عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود (شکل 3). به طوری که میزان انحراف عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA از مشاهداتی برای این مناطق به ترتیب 5/52، 2/75 و 6/44 درصد بود (شکل 3). در مناطق تربت حیدریه و سبزوار این دو عملکرد بسیار به هم نزدیک بودند (هر دو با میزان انحراف 0/32 درصد) و در مابقی مناطق عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های AgMERRA کمتر از عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود (شکل 3). در مطالعات قبلی علت اصلی اختلاف بین عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده و مشاهداتی را ناشی از اختلاف بین تشعشع خورشیدی مجموعه داده‌ها و مشاهداتی گزارش نمودند

داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA در تمامی مناطق به جز تربت حیدریه و گناباد برای نیاز آبی نزدیک به میانگین بلند مدت نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی بود. در نتیجه با توجه به اینکه حداقل داده آب و هوایی مورد نیاز برای اجرای اکثر مدل‌های شبیه‌سازی گیاه زراعی تشعشع خورشیدی، بارندگی، دمای حداکثر و حداقل بوده، مجموعه داده AgMERRA قابلیت خوبی برای استفاده در مدلسازی گیاه و شبیه‌سازی نیاز آبی و عملکرد دارند. بنابراین از این مجموعه داده می‌توان جهت مطالعاتی همچون تغییر اقلیم، خلأ عملکرد و امنیت غذایی که به میانگین بلند مدت عملکرد نیاز دارند، در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. البته با توجه به اینکه این داده‌ها بدون تصحیح جهت برآورد نیاز آبی و عملکرد استفاده شدند، قابلیت اطمینان داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA در منطقه مورد مطالعه به‌ویژه در تربت حیدریه و گناباد می‌تواند با مقایسه و واسنجی فصلی یا طی دوره رشد گیاه به جای ارزیابی سالانه که در این مطالعه استفاده شد، بهبود یابد.

## نتیجه‌گیری

با توجه به این که داده‌های شبکه‌بندی شده تشعشع خورشیدی، دمای حداکثر و حداقل AgMERRA در مناطق اقلیمی خشک، نیمه خشک و معتدل استان خراسان رضوی همبستگی و توافق خوبی با داده‌های مشاهداتی داشتند، می‌توان از این داده‌ها در مکان‌های فاقد ایستگاه هواشناسی و یا مناطق دارای ایستگاه با داده‌های ناقص یا دوره آماری کوتاه در استان خراسان رضوی استفاده نمود. با این حال مقایسه بارندگی روزانه و سرعت باد AgMERRA با مقادیر مشاهداتی متناظر بیانگر عدم قابلیت بارندگی روزانه و سرعت باد این مجموعه داده برای استفاده در این منطقه بود.

همچنین نتایج نشان داد که شبیه‌سازی‌های مبتنی بر داده‌های AgMERRA در برخی مناطق تغییرات درون سالی نیاز آبی و عملکرد را به خوبی نشان ندادند. لذا می‌توان بیان داشت که داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA برای شبیه‌سازی دقیق نیاز آبی و عملکرد در یک سال خاص زیاد قابل اعتماد نیستند. با این وجود میانگین بلند مدت نیاز آبی و عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از

## منابع

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith D. 1998. Crop Evapotranspiration. FAO irrigation and drainage paper No.56. FAO, Rome, Italy.
- Bai J., Chen X., Dobermann A., Yang H., Cassman K.G., and Zhang F. 2010. Evaluation of NASA satellite- and model-derived weather data for simulation of maize yield potential in China. *Agronomy Journal*, 102: 9–16.
- Bannayan M., Mansoori H., and Rezaei E.E. 2014. Estimating climate change, CO<sub>2</sub> and technology development effects on wheat yield in northeast Iran. *Biometeorology*, 58: 395–405.
- Bannayan M., Paymard P., and Ashraf B. 2016. Vulnerability of maize production under future climate change: possible adaptation strategies. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 96: 4465–4474.
- Battisti D.S., and Naylor R.L. 2009. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, 323: 240–244.
- Bondeau A., Smith P.C., Zaehle S., Schaphoff S., Lucht W., Cramer W., Gerten D., Lotze-Campen H., Müller C., Reichstein M., and Smith B. 2007. Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance. *Global Change Biology*, 13: 679–706.
- Boote K.J., Jones J.W., and Pickering N.B. 1996. Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal*, 88: 704–716.
- Bosilovich M.G., Chen J., Robertson F.R., and Adler R.F. 2008. Evaluation of global precipitation in reanalysis. *Journal of Applied Meteorological Climatology*, 47: 2279–2299.
- Ceglar A., Toreti A., Balsamo G., and Kobayashi S. 2017. Precipitation over Monsoon Asia: a comparison of reanalyses and observations. *Journal of Climate*, 30(2): 465–476.
- Daly C., Neilson R.P., and Phillips D.L. 1994. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology*, 33: 140–158.
- Dehghan H., and Alizadeh A. 2012. Evaluation and calibration of different methods to estimate reference crop evapotranspiration under climatic data limitations (Case study: Khorasan Razavi province). *Iranian Journal of Water and Soil*, 26(1): 236–250. (In Persian with English abstract)
- Dinku T., Connor S.J., Ceccato P., and Ropelewski C.F. 2008. Comparison of global gridded precipitation products over a mountainous region of Africa. *International Journal of Climatology*, 28: 1627–1638.
- Eyshi Rezaei E., and Bannayan M. 2012. Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. *Meteorological Applications*, 19(3): 346–354.
- FAO, 1992. CROPWAT; a Computer Program for Irrigation Planning and Management, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46 Food and Agriculture Organization, Rome.

- 15- Folberth C., Gaiser T., Abbaspour K.C., Schulin R., and Yang H. 2012. Regionalization of a large-scale crop growth model for Sub-Saharan Africa Model setup, evaluation, and estimation of maize yields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 151: 21–33.
- 16- Folberth C., Yang H., Gaiser T., Abbaspour K.C., and Schulin R. 2013. Modeling maize yield responses to improvement in nutrient, water and cultivar inputs in Sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems*, 119: 22–34.
- 17- Foley J.A., Defries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., Coe M.C., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T., Howard E.A., Kucharik C.J., Monfreda C., Patz J.A., Prentice I.C., Ramankutty N., and Synder P.K. 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309: 570–574.
- 18- Grassini P., Van Bussel L.G.J., Van Wart J., Wolf J., Claessens L., Yang H., Boogaard H., de Groot H., Van Ittersum M.K., and Cassman K.G. 2015. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Research*, 177: 49–63.
- 19- Hoogenboom G., Jones J.W., Wilkens P.W., Porter C.H., Boote K.J., Hunt L.A., Singh U., Lizaso J.I., White J.W., Uryasev O., Ogoshi R., Koo J., Shelia V., and Tsuji G.Y. 2014. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 ([www.DSSAT.net](http://www.DSSAT.net)). DSSAT foundation prosser, Washington.
- 20- Jensen M.E., and Allen R.G. 2016. Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. ASCE manuals and reports on engineering practice No. 70, 2nd edn. American society of civil engineers, Reston.
- 21- Jones P.G., and Thornton P.K. 2013. Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications. *Agricultural Systems*, 114: 1-5.
- 22- Joyce R.J., Janowiak J.E., Arkin P.A., and Xie P. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5: 487- 503
- 23- Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woolen J., Yang S., Hnilo J.J., Fiorino M., and Potter G.L. 2002. NCEP–DOE AMIP-II reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83: 1631–1643.
- 24- Lashkari A., Bannayan M., Koocheki A., Alizadeh A., Choi Y.S., and Park S.K. 2016. Applicability of AgMERRA forcing dataset for gap-filling of in-situ meteorological observation, case study: Mashhad Plain. *Journal of Water and Soil*, 29(6): 1749-1758. (In Persian with English abstract)
- 25- Licker R., Johnston M., Foley J.A., Barford C., Kucharik C.J., Monfreda C., and Ramankutty N. 2010. Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the ‘yield gap’ of croplands around the world? *Global Ecology and Biogeography*, 19: 769–782.
- 26- Lobell D. 2007. Changes in diurnal temperature range and national cereal yields. *Agricultural and Forest Meteorology*, 145: 229–238.
- 27- Lobell D.B., Burke M.B., Tebaldi C., Mastrandrea M.D., Falcon W.P., and Naylor R.L. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319: 607–610.
- 28- Miri M., Azizi G., Khoshakhlagh F., and Rahimi M. 2017. Evaluation statistically of temperature and precipitation datasets with observed data in Iran. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 10(35): 39-50. (In Persian with English abstract)
- 29- Mohanty M., Sinha N.K., and Patra A.K. 2015. Crop Growth Simulation Models in Agricultural Crop Production. Pages 1-27 in *Crop Growth Simulation Modelling and Climate Change*. Mohanty, M., Sinha, N. K., Hati, K. M., Chaudhary, R. S., Patra, A.K. ed., Scientific Publishers, India.
- 30- New M., Lister D., Hulme M., and Makin I. 2002. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, 21: 1–25.
- 31- Quaye-Ballard J.A., An R., Ruan R., Adjei K.A., and Akorful-Andam S. 2013. Validation of climate research unit high resolution time-series rainfall data over three source region: results of 52 years. *Advanced Materials Research*, 26(73): 3542-3546.
- 32- Pilgrim D.H., Chapman T.G., and Doran D.G. 1998. Problems of rainfall-runoff modeling in arid and semiarid regions. *Hydrological Sciences Journal*, 33(4): 379-400.
- 33- Priestley C.H.B., and Taylor R.J. 1972. On the assessment of surface heat-flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100: 81– 92.
- 34- Richardson C.W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resources Research*, 17: 182-190.
- 35- Ruane A.C., Goldberg R., and Chrissyanthacopoulos J. 2015. Climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200: 233-248.
- 36- Sadras V.O. 2003. Influence of size of rainfall events on water-driven processes. I. Water budget of wheat crops in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54: 341–351.
- 37- Salehnia N., Alizadeh A., Sanaeinejad H., Bannayan M., Zarrin A., and Hoogenboom G. 2017. Estimation of

- meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of Arid Land*, 1-13.
- 38- Van Bussel L.G.J., Müller C., Van Keulen H., Ewert F., and Leffelaar P.A. 2011. The effect of temporal aggregation of weather input data on crop growth models' results. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 607-619.
- 39- Van Ittersum M.K., Cassman K.G., Grassini P.G., Wolf J., and Tittone P. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-a review. *Field Crops Research*, 143: 4-17.
- 40- Van Wart J., Kersebaum K.C., Peng S., Milner M., and Cassman K.G. 2013. A protocol for estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*, 143: 34-43.
- 41- Van Wart J., Grassini P., Yang H., Claessens L., Jarvis A., and Cassman K.G. 2015. Creating long-term weather data from thin air for crop simulation modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 209: 49-58.
- 42- White J.W., Hoogenboom G., Hoell P.W., and Stackhouse Jr P.W. 2008. Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 1574-1584.
- 43- White J.W., Hoogenboom G., Stackhouse Jr P.W., and Hoell J.M. 2008. Evaluation of satellite-based, modeled-derived daily solar radiation data for the continental United States. *Agronomy Journal*, 103(4): 1242-1251.
- 44- Zhiming F., Dengwei L., and Yuehong Z. 2007. Water requirements and irrigation scheduling of spring maize using GIS and CropWat model in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Chinese Geographical Science*, 7(1): 56-63.

## Evaluation of Grided AgMERRA Weather Data for Simulation of Water Requirement and Yield of Rainfed Wheat in Khorasan Razavi Province

F. Yaghoubi<sup>3</sup>- M. Bannayan Aval<sup>2\*</sup>- Gh.A. Asadi<sup>3</sup>

Received: 04-12-2017

Accepted: 09-04-2018

**Introduction:** Estimating crop water requirement, crop yield and their temporal and spatial variability using crop simulation models are essential for analysis of food security, assessing impact of current and future climates on crop yield and yield gap analysis, however it requires long-term historical daily weather data to obtain robust predictions. Depending on the degree of weather variability among years, at least 10–20 years of daily weather data are necessary for reliable estimates of crop yield and its inter-annual variability. In many regions where crops are grown, daily weather data of sufficient quality and duration are not available. In this way, grided weather databases with complete terrestrial coverage are available which require comprehensive validation before any application. These weather databases typically derived from global circulation computer models, interpolated weather station data or remotely sensed surface data from satellites. The aims of this study were to evaluate differences between grided AgMERRA weather data and ground observed data and quantify the impact of such differences on simulated water requirement and yield of rainfed wheat at 9 different locations in Khorasan Razavi province.

**Materials and Methods:** AgMERRA dataset (NASA's Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications) was selected as the grided weather data source for use in this study because it is publically accessible. We evaluated AgMERRA weather data against observed weather data (OWD) from 9 meteorological stations (Torbat Jam, Torbat Heydarieh, Sabzevar, Sarakhs, Ghoochan, Kashmar, Gonabad, Mashhad, and Neyshabour) in Khorasan Razavi province. For each weather variable (solar radiation, maximum temperature, minimum temperature, precipitation, and wind speed), the degree of correlation and agreement between OWD and AgMERRA data for the grid cell in which weather stations were located were evaluated. The intercept (b), slope (m), and coefficient of determination ( $r^2$ ) of the linear regression were calculated to determine the strength and bias of the relationship, while the root mean square error (RMSE) and normalized root mean square error (NRMSE) were computed to measure the degree of agreement between data sources. Crop water requirement or actual crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) under standard condition was computed using CROPWAT 8.0. The CSM-CERES-Wheat (Cropping System Model-Crop Environment Resource Synthesis-Wheat) model, included in the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT v4.6) software package was used to calculate rainfed wheat yield. For each location in this study, rainfed wheat grain yield and water requirement were simulated using ground-observed and AgMERRA weather data and outputs were compared with each other.

**Results and Discussion:** The results of this study showed that AgMERRA daily maximum and minimum temperature and solar radiation showed strong correlation and good agreement with data from ground weather stations. AgMERRA daily precipitation had low correlation and good agreement (mean  $r^2= 0.34$ , RMSE= 2.25 mm and NRMSE= 4.94% across the 9 locations) with OWD daily values, but correlation with 15-day precipitation totals were much better (mean  $r^2 >0.7$  across the 9 locations). There was reasonable agreement between a number of observed dry and wet days with AgMERRA compared to OWD. Results indicated that coefficient of variation of simulated water requirement and yield using AgMERRA weather data was remarkably similar to the degree of variation observed in simulated water requirement and yield using OWD at all locations (distribution of CVs in simulated water requirement and yield using AgMERRA weather data were within  $\pm 5\%$  of the CV calculated for simulated water requirement and yield using observed weather data) except Torbat Jam, Torbat Heydarieh and Gonabad for water requirement and Mashhad, Kashmar and Ghoochan for yield. There was good agreement between long-term average yield simulated with AgMERRA weather data and long-term average yield simulated using observed weather data. For example, the distribution of simulated yields using AgMERRA data was within 10% of the simulated yields using observed data at all locations. Using AgMERRA weather data resulted in simulated crop water requirement that were not in close agreement with crop water requirement simulated with ground station data at two location including Gonabad and Torbat Heydarieh.

**Conclusions:** These results supported the use of uncorrected AgMERRA daily maximum and minimum

3, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor of Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, Respectively  
(\*- Corresponding Author Email: banayan@um.ac.ir)



temperature and solar radiation in areas that their weather stations only have a few years of daily weather records available or areas without weather station. Considering the advantage of continuous coverage and availability, use of AgMERRA dataset appears to be a promising option for simulation of long-term average yield and water requirement, as well as for assessing impact of climate change on crop production and also estimating the magnitude of existing gaps between yield potential and current average farm yield in Khorasan Razavi province. But they are not very reliable for accurate simulation of water requirement and yield in a specific year and estimate their inter-annual variation.

**Keywords:** Crop model, Precipitation, Regression, Weather data

