نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۶۹، تابستان ۱۴۰۲

سنجش و برآورد پارامترهای اقلیمی در نواحی مختلف ایران به کمک مدل شبیه‌سازی SIMETAW

دریافت مقاله: ۹۷/۹/۳ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۱۱/۱۸

صفحات: ۴۳۸-۴۲۵

هوشمند عطایی: دکتری اقلیم شناسی، دانشیار دانشگاه پیام نور تهران، ایران[1]
Email: hoo_ataei@yahoo.com
مهسا راوریان: دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه پیام نور
Email: Mahsa_Ravarian@yahoo.com
سید علیرضا تشکری هاشمی: دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه پیام نور
Email: A.Tashakori@yahoo.com

چکیده

تاکنون مدل‌های متعددی برای برآورد پارامترهای مختلف اقلیمی ارائه‌شده است، اما با توجه به کمبود داده‌های معتبر و طولانی‌مدت در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی، به‌کارگیری بعضی از مدل‌ها مشکل شده است. مدل شبیه‌سازی SIMETAW[2] به‌منظور تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل و همچنین برآورد مقدار خالص آب موردنیاز آبیاری (ETaw) ارائه‌شده است. علاوه بر این، با استفاده از این مدل می‌توان داده‌های هواشناسی روزانه را از روی داده‌های هواشناسی ماهانه شبیه‌سازی کرد. شبیه‌سازی اطلاعات آب‌وهوای روزانه درجایی که تنها میانگین‌های ماهانه وجود دارد، یک ابزار بسیارخوب برای پرکردن داده‌های گمشده است. در این پژوهش با استفاده از مدل شبیه‌سازی SIMETAW به برآورد پارامترهای مختلف اقلیمی ازجمله تابش خورشیدی، دمای حداقل و حداکثر، سرعت باد، نقطه شبنم، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در چهار اقلیم متفاوت نیمه‌خشک (مشهد)، گرم و خشک (بندرعباس)، معتدل و مرطوب (رامسر) و مدیترانه‌ای (سنندج) در طی سال‌های میلادی (۱۹۶۷-۲۰۱۷) می‌پردازیم. نتایج این مطالعات نشان داد که مدل SIMETAW توانایی بالایی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دارد و بالاترین دقت مدل را در شبیه‌سازی بارش (R^2 =۰/۹۹۸) و دمای حداکثر (R^2 =۰/۹۹۷) مربوط به اقلیم نیمه‌خشک (مشهد)، نقطه شبنم (R^2 =۰/۹۹۸) مربوط به اقلیم معتدل و مرطوب (رامسر)، برای تابش (R^2 =۰/۹۹۸) و سرعت باد (R^2 =۰/۹) مربوط به اقلیم مدیترانه‌ای (سنندج) و دمای حداقل (R^2 =۰/۹۹۸) برای اقلیم گرم و خشک (بندرعباس) می‌باشد. مقدار R^2 همبستگی بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای نشان‌دهنده همبستگی بالای این دو مقدار می‌باشد.

کلید واژگان: مدل SIMETAW، تبخیر و تعرق، شبیه‌سازی، اقلیم، داده‌های روزانه

---

۱. نویسنده مسئول: دکتر هوشمند عطایی- پست الکترونیک: hoo_ataei@yahoo.com- تلفن: ۰۹۱۳۱۰۱۰۷۶۰

2. Simulation of Evapotranspiration of Applied Water

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

مقدمه

امروزه برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل برای مطالعاتی نظیر بیلان آبی، مدیریت و طراحی سیستم‌های آبیاری و مدیریت منابع آبی، موردنیاز می‌باشد (حسینی و ابراهیمی تبار، ۱۳۹۱). در ایران متوسط بارندگی در آماری ۲۵ ساله (۱۳۵۷-۱۳۸۲) بر اساس روش میانگین به سطح حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال می‌باشد که به دلیل موقعیت آب و هوایی ۷۲ درصد آن پس از ریزش، تبخیر و مجدداً وارد اتمسفر می‌شود (زاهدی و بیاتی:۳۸۲). بخش کشاورزی حدود ۹۴ درصد کل آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد که بیشتر تبخیر و تعرق در آن اتفاق می‌افتد (علیزاده: ۴۵۲).

تاکنون مدل‌های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه‌شده است که تفاوت عمده آن‌ها در تعداد پارامترهای هواشناسی موردنیاز می‌باشد. این مدل‌ها برای استفاده در شرایط اقلیمی مختلف، نیاز به واسنجی و ارزیابی دارند (هوگس[1] و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۳۴)؛ اما با کمبود داده معتبر و طولانی‌مدت در برخی ایستگاه‌ها به‌کارگیری مدلی که با داده‌های اندک نیاز ما را برآورده نماید و بتواند به کمک برنامه‌ریزان این بخش بیاید ضروری به نظر می‌رسد (ابراهیم پور و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۵۳). مدل‌های شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، کاربردهای فراوانی دارند. ازجمله این کاربردها می‌توان به برآورد داده‌های مفقود در ایستگاه‌های فاقد داده باکیفیت، تولید داده‌های درازمدت و شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی را نام برد (ابراهیم پور و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۵۳). استفاده از مدل-ها، زمینه‌ی لازم را برای پاسخ‌های سریع، مطلوب و اقتصادی به بسیاری از سؤالات فراهم آورده است. مدل‌سازی در علوم مختلف کشاورزی ازجمله آبیاری و زهکشی درحال‌توسعه می‌باشد (براتی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۷).

مدل SIMETAW به‌طور خاص برای تخمین تبخیر و تعرق آب کاربردی و برنامه‌ریزی آبیاری نوشته‌شده است هرچند که برنامه کاربردهای دیگری نیز دارد، بخش شبیه‌سازی این مدل قادر است تنها با واردکردن متوسط ماهانه درازمدت متغیرهای هواشناسی، ریزمقیاس نمایی زمانی انجام داده و مقادیر روزانه تولید کند. شبیه‌سازی اطلاعات هواشناسی روزانه درجایی‌که تنها میانگین‌های ماهانه وجود دارد، یک ابزار خوب برای پر کردن داده‌های گمشده است. این مدل تاکنون در کشورهایی مثل آمریکا، چین و مصر ارزیابی‌شده است. در ایران نیز کارایی این مدل در زمینه شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مرکزی و شرق ایران ارزیابی‌شده که بیانگر دقت خوب مدل در شبیه‌سازی داده‌های اولیه‌ی لازم برای محاسبه تبخیر و تعرق و توانایی و دقت بالا در شبیه‌سازی طولانی‌مدت تبخیر و تعرق است. در این مدل بخش شبیه‌سازی برنامه برای مطالعات اثر تغییر اقلیم بر مقدار خالص آب موردنیاز آبیاری نیز مفید است. در مدل برای توصیف الگوهای بارش از یک رهیافت مشترک توزیع احتمالی گاما و مدل‌سازی زنجیره مارکوف دو حالتِ درجه اول استفاده می‌شود، برای شبیه‌سازی داده‌های روزانه سرعت باد فقط از تابع توزیع گاما، استفاده می‌شود و داده‌های دما، تابش خورشیدی و رطوبت، معمولاً از توزیع سری فوریه پیروی می‌کنند (برادران و همکاران، ۱۳۹۵).

1. Hughes

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

لی و همکاران[1] (۲۰۱۰) در شمال غرب لیائونینگ[2] به آزمون و کاربرد مقدماتی مدل SIMETAW پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که مدل عملکرد خوبی در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق محصولات اصلی (ذرت، سویا و ارزن) در شمال غرب لیائونینگ دارد و تبخیر و تعرق کل شبیه‌سازی‌شده بسیار نزدیک به داده‌های اندازه‌گیری مزرعه‌ای بوده و خطای نسبی بین مقایسه کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. سافیک و فارس[3] (۲۰۱۱) در ارزیابی مدل ClimGen در شبیه‌سازی مقادیر روزانه دما، بارش و سرعت باد در چهار اقلیم حاره‌ای دریافتند که این مدل در شبیه‌سازی سرعت باد، دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر دارای کارایی مناسبی است. شیائولین[4] و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی نیاز آبی گندم زمستانه بر اساس مدلSIMETAW در منطقه کشاورزی هوانگ هوای چینگ های۵ پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد این مدل برای شبیه‌سازی آب استفاده‌شده در فرایند رشد گندم در منطقه مذکور رضایت‌بخش بوده است. منظور از رضایت بخشی از این مدل، درک بهتر از تغییرات زمانی و مکانی آب موردنیاز ((ETc و مقدار آبیاری (ETaw) گندم زمستانه و واکنش آن‌ها به تغییرات آب و هوایی و آبیاری است. نوئمی[6] (۲۰۱۳) به ارزیابی نیاز آبی با استفاده از مدل SIMETAW پرداخت و از این مدل برای تعیین نیاز آبیاری واقعی و آینده برای برخی از محصولات مهم اقتصادی برای منطقه ساردینا[7] استفاده کرد. نتایج نشان داد که مدل، اطلاعات دقیقی در موردنیاز آبی گیاه به‌وسیله تبخیر و تعرق ناحیه‌ای تهیه می‌کند. همچنین استفاده از این مدل می‌تواند یک‌راه پایدار برای صرفه‌جویی در آب و بهبود مدیریت آبیاری و بهره‌وری آب باشد.

ابراهیم پور و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل و شبیه‌سازی داده‌های روزانه با استفاده از مدل SIMETAW پرداختند. این مطالعه در چهار ایستگاه در ایران (بوشهر، تبریز، زاهدان و مشهد) انجام شد و نتایج نشان داد که به‌جز سرعت باد روزانه، مدل به‌طور دقیق متغیرهای دمای روزانه و بارش ماهانه را تولید می‌کند .ابراهیم پور و همکاران (۱۳۹۱) به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل SIMETAW در مشهد پرداختند. نتایج نشان‌دهنده قابلیت مناسب مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی و همچنین برآورد تبخیر و تعرق، تکمیل خلأهای آماری داده‌ها و بررسی اثرات تغییر اقلیم بود. روحانی و همکاران (۱۳۹۶) بررسی عدم قطعیت شبیه‌سازی بارش در حوزه بجنورد مشهد پرداختند. در ایستگاه همدیدی مشهد نیز اختلاف معنی‌داری در شبیه‌سازی بعضی مدل‌های GCMو سناریوهای انتشار مشاهده شد که مربوط به مدل CGCM3 در دو ماه ژانویه و مارس و مدل GFCM3 در ماه‌های مربوط به فصل تابستان بود. برادران و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی مدل SIMETAW در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی تبخیر و تعرق در چهار اقلیم مختلف با استفاده از داده‌های ماهانه (رشت، شهرکرد، اهواز و سنندج) پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل توانای بالایی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دارد. بالاترین دقت مدل در شبیه‌سازی دمای حداکثر و بارش در اقلیم مدیترانه‌ای، دمای حداقل و نقطه شبنم

1. Li et al.
2. Liaoning
6. Safeeq & Fares
4. Xiaolin et al.
5. Huang-huai-hai
6. Noemi
7. Sardina

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

در اقلیم بسیار مرطوب، سرعت باد در اقلیم خشک و تابش خورشیدی در اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد مهم‌ترین کار انجام‌شده در این زمینه مربوط به برادران و همکاران (۱۳۹۶) است که از داده‌های ماهانه استفاده‌شده و به نظر می‌رسد برخی از ایستگاه انتخابی، نماینده‌های شاخصی از اقلیم‌های اصلی کشور ایران نیستند. هدف از انجام این پژوهش سنجش، ارزیابی مدل SIMETAW جهت شبیه‌سازی و برآورد پارامترهای اقلیمی با به‌کارگیری داده‌های روزانه در چهار ایستگاه کشور که ازنظر جغرافیایی و به‌ویژه اقلیمی نماینده چهار اقلیم متفاوت نیمه‌خشک، گرم و خشک، معتدل و مرطوب و مدیترانه‌ای است؛ بنابراین گزینش ایستگاه‌ها بر مبنای نواحی اقلیمی اصلی ایران انجام‌شده است.

روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

جهت بررسی کاربرد مدل SIMETAW چهار ایستگاه که در چهار اقلیم جغرافیایی متفاوت قرار داشته و پراکنش خوب جغرافیایی در سطح کشور نیز دارند، انتخاب گردید. ایستگاه انتخابی رامسر در شمال کشور، ایستگاه مشهد در شمال شرقی، ایستگاه بندرعباس در جنوب و ایستگاه سنندج در شمال غرب کشور قرار دارد. جدول (۱) مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد.

جدول (۱). مشخصات ایستگاه‌های موردمطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیای	طول جغرافیای	ارتفاع (متر)	اقلیم
بندرعباس	۲۷ ۱۳ N	۵۶ ۲۲ E	۹/۸	خشک و گرم
سنندج	۳۵ ۲۰ N	۴۷ ۰۰ E	۱۳۷۳/۴	مدیترانه‌ای
مشهد	۳۶ ۱۶ N	۵۹ ۳۸ E	۹۹۹/۲	نیمه‌خشک
رامسر	۳۶ ۵۴ N	۵۰ ۴۰ E	۲۰ –	معتدل و مرطوب

داده و روش کار

معرفی مدل SIMETAW

مدل SIMETAV V.1.0 با همکاری دانشگاه دیویس کالیفرنیا و بخش منابع آب ایالت کالیفرنیا در سال 2005 توسعه‌یافته است. مدل SIMETAW یک ابزار جدید و ابتکاری برای تخمین تبخیر و تعرق آب کاربردی (ET_{AW}) می‌باشد. مدل SIMETAW داده‌های آب‌وهوای روزانه را با استفاده از داده‌های ماهانه‌ی آب‌وهوا شبیه‌سازی می‌کند. در مدل SIMETAW همه محاسبات تبخیر و تعرق آب کاربردی بر پایه‌ی روزانه انجام می‌شود. ورودی‌های برنامه باید به‌صورت فایل آماده شوند. درSIMETAW سی پسوند ورودی وجود دارد و کاربر باید بر اساس نوع داده‌های هواشناسی ورودی (بر اساس اینکه کدام پارامترهای هواشناسی را در اختیار دارد و اینکه داده‌های در اختیار روزانه هستند یا ماهانه) یک پسوند را انتخاب می‌کند. داده‌ها باید با واحدهای درست آماده شوند: تابش خورشیدی (مگا ژول بر مترمربع در روز)، دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)، دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)، دمای نقطه شبنم (درجه سانتی‌گراد)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، بارندگی (میلی‌متر)، تبخیر از تشت (میلی‌متر) و تبخیر تعرق پتانسیل (میلی‌متر) (برادران و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۳۷). اگر فقط داده‌های دما در دسترس باشند، SIMETAWتبخیر و تعرق پتانسیل روزانه را با استفاده از معادله هارگریوز- سامانی محاسبه می‌کند (۲۲). در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

مدل SIMETAW برای توصیف الگوهای بارش از یک رهیافت مشترک توزیع احتمالی گاما و مدل‌سازی زنجیره‌ی مارکوف دوحالته درجه اول استفاده می‌شود، برای دوره‌هایی که الگوهای بارش نسبتاً یکنواخت هستند، برای شبیه‌سازی داده‌های روزانه سرعت باد فقط از تابع توزیع گاما استفاده می‌شود و داده‌های دما، تابش خورشیدی و رطوبت، معمولاً از توزیع سری فوریه پیروی می‌کنند (قهرمان و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۴).

در این تحقیق به‌منظور ارزیابی توانایی مدل SIMETAW شبیه‌سازی داده‌های ماهانه، اطلاعات هواشناسی ماهانه شامل دمای حداکثر و حداقل، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، تابش خورشیدی و بارندگی برای دوره ۱۹۶۷-۲۰۱۷ ایستگاه‌های رامسر، مشهد، بندرعباس و سنندج از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. با داده-های ماهانه مدل اجرا گردید و در ادامه داده‌های تولیدشده با داده‌های دریافتی مقایسه شدند. سپس داده‌های شبیه‌سازی‌شده تبخیر و تعرق پتانسیل با داده‌های حاصل از روش تورنت-وایت مقایسه گردید.

در ادامه به مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی داده‌ها با مدل SIMETAW و مقادیر مشاهده‌ای با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین[1] (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا[2] (RMSE)، میانگین مربعات خطا نرمال[3] (NRMSE) و شاخص توافق ویلموت[4] (d) که از روابط (۱ تا ۵) به دست می‌آیند، استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(p_i - o_i)^2}{N}}$$ رابطه (۱)

$$NRSME = \frac{RMSE \times 100}{\bar{o}}$$ رابطه (۲)

$$R^2 = 1 - \frac{MSE}{F_O}$$ رابطه (۳)

$$F_O = \frac{\sum_{i=1}^{N}(t_i - \bar{t}_i)^2}{n}$$ رابطه (۴)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(p_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(|p_i - \bar{o}| + |o_i - \bar{o}|)^2}$$ رابطه (۵)

در این روابط N تعداد کل داده‌ها، p_i مقادیر پیش‌بینی‌شده، o_i مقادیر مشاهده‌ای، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. مقدار MSE توان دوم RMSE و $\bar{t}_i$ میانگین سری t_i و t_i خروجی واقعی است.

شاخص آماری RSME بیانگر میانگین تفاوت داده شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای می‌باشد (نایدر[5] و همکاران، ۲۰۰۴:۲۱۴). این شاخص، ابتدا اختلاف تک تک مقادیر مشاهده‌شده را با مقادیر پیش‌بینی‌شده به‌وسیله مدل (مثلاً در تحلیل رگرسیون) محاسبه نموده و به توان دو می‌رساند. از این اختلافات میانگین گرفته و در نهایت جذر عدد میانگین را ارائه می‌دهد که همان RMSE است. این شاخص معیاری برای دقت نتایج است و معمولاً

1. Coefficient of Determination
2. Root Mean Square Error
3. Normal Root Mean Square Error
4. Willmott
5. Snyder

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

هرچه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق باشد مقدار آن کمتر می‌شود. مقدار NRMSE نسبت اختلاف میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی به متوسط مشاهده‌ها را نشان می‌دهد. اگر مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی بسیار خوب، اگر بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد باشد، شبیه‌سازی خوب، اگر بیش از ۲۰ درصد و کمتر از ۳۰ درصد شود، شبیه‌سازی نسبتاً خوب و بالای ۳۰ درصد شبیه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (نایدر و همکاران، ۲۰۰۴:۲۱۴). شاخص آماری توافق ویلموت(d) دارای مقداری بین صفر تا یک است که مقدار یک بیانگر بهترین برازش می‌باشد. ضریب همبستگی، یکی از معیارهای مورداستفاده در تعیین همبستگی دو متغیر (یا دو مجموعه داده) است که شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ و ۱- است و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر خواهد بود. هرچه این ضریب به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده رابطه ضعیف‌تر بین داده‌ها و هرچه به یک یا منفی یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده رابطه قوی‌تر بین داده‌ها است. ضریب مثبت بیانگر رابطه مستقیم و ضریب منفی بیانگر رابطه معکوس خواهد بود.

نتایج

ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی

میانگین دراز مدت ماهانه داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک رامسر، مشهد، بندرعباس و سنندج با طول آمار ۵۰ سال به‌عنوان داده ورودی به مدل SIMETAW داده شد. خروجی مدل پیش‌بینی داده‌های تابش خورشیدی، دمای حداقل و حداکثر، سرعت باد، نقطه شبنم و بارش شبیه‌سازی شد. صحت سنجی مدل با چهار شاخص تعیین خطا بررسی گردید که نتایج آن در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲). مقایسه داده‌های هواشناسی مشاهده‌شده با داده‌های شبیه‌سازی‌شده

	شاخص ویلموت				ضریب تعیین			
متغیر	مشهد	رامسر	بندرعباس	سنندج	مشهد	رامسر	بندرعباس	سنندج
تابش	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۸۵	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۷	۰/۹۹۴	۰/۹۸۷	۰/۹۹۸
دما حداکثر	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۱	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷
دما حداقل	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۷
سرعت باد	۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۳۵	۰/۹۹۳۶	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۶	۰/۹۹۶	۰/۹۷۷	۰/۹
نقطه شبنم	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۳۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۱
بارش	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۸۶	۰/۹۹
تبخیروتعرق	۰/۹۹۸۷	۰/۹۹۳۷	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۶	۰/۹۹۵	۰/۹۶۶	۰/۹۸
	ریشه میانگین مربعات خطا				میانگین مربعات خطا نرمال			
متغیر	مشهد	رامسر	بندرعباس	سنندج	مشهد	رامسر	بندرعباس	سنندج
تابش	۰/۴۱۴	۰/۲۷۴	۰/۳۲	۰/۳۳۱	۱/۷۱	۲/۰۵۶	۱/۲۳۷	۱/۳۶۸
دما حداکثر	۰/۲۹۳	۰/۳۶	۰/۳۱۷	۰/۴۳۴	۱/۳۵۳	۱/۸۴۵	۰/۹۸۳	۱/۹۸۵
دما حداقل	۰/۲۵۳	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۵۶	۳/۲۲۱	۱/۸۵۳	۱/۰۶۱	۶/۳۵۷
سرعت باد	۰/۳۴	۰/۰۲۵	۰/۰۶۲	۰/۰۳۷	۱/۵۹۴	۱/۶۲۲	۱/۰۵۲	۱/۸۵۴
نقطه شبنم	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۱۹۲	۰/۴۸	۴/۰۵۸	۱/۶۱۵	۱/۰۱۳	۱۷/۷۹۲۶
بارش	۰/۰۸۷	۰/۲۰۸	۰/۰۶۵	۰/۲۵۸	۰/۴۱۰	۰/۲۰۴	۰/۴۴۵	۰/۷۸۲
تبخیروتعرق	۰/۱۷	۰/۱۷۸	۰/۱۲۸	۰/۱۲۷	۳/۴۰۹	۷/۴۶۵	۰/۹۷۲	۲/۶۳۲

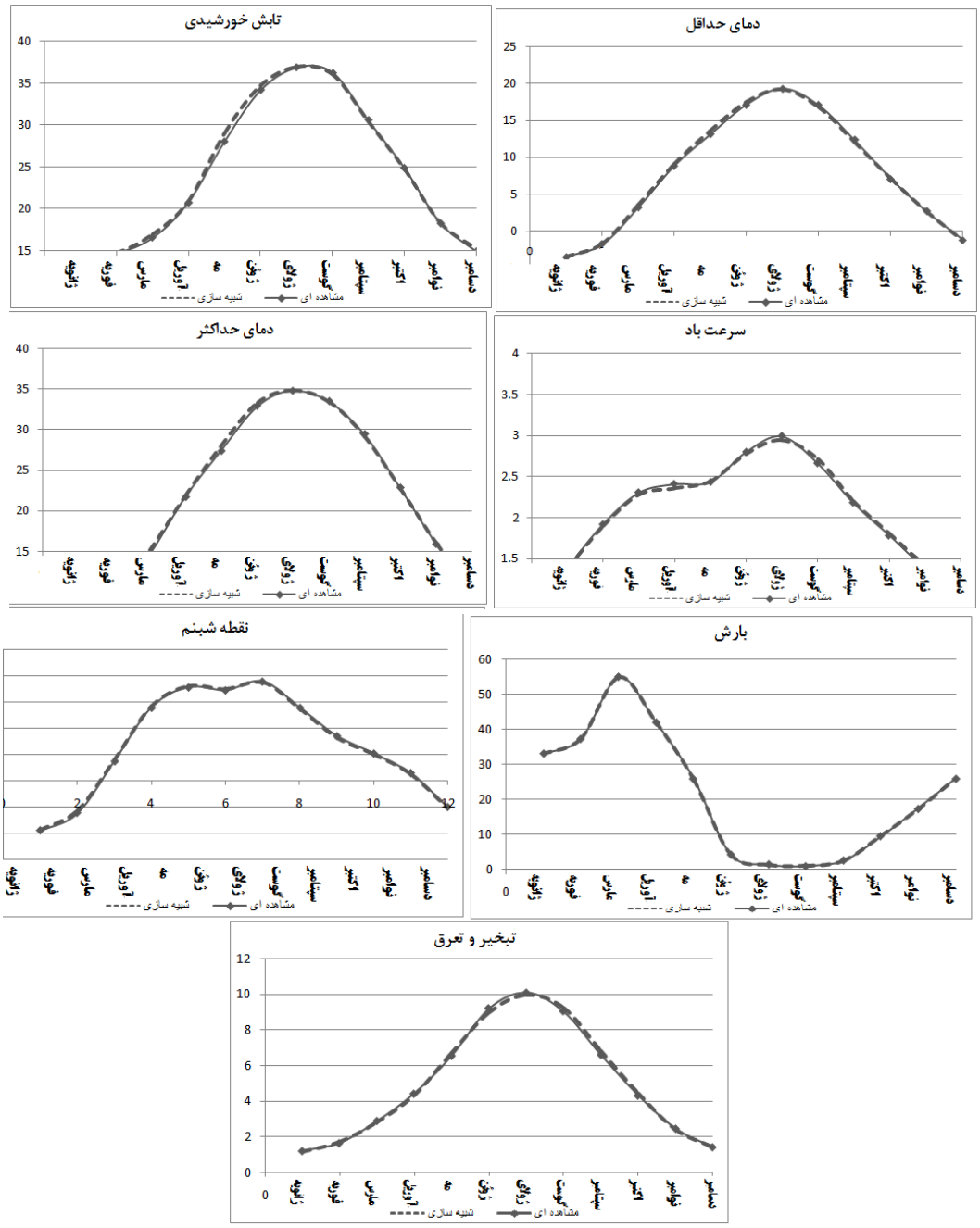
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

نتایج حاصل از صحت سنجی داده‌های هواشناسی شبیه‌سازی‌شده در جدول (۲) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شبیه‌سازی مدل با توجه به دو شاخص ویلموت و ضریب تعیین مقدار بارش و نقطه شبنم دارای بالاترین ضریب می‌باشد و دمای حداقل و حداکثر در درجه دوم قرار می‌گیرد. حجارپور و همکاران (۱۳۹۳) مدل CLIMGEN را برای اقلیم خشک مشهد جهت برآورد دما و مدل WeatherMan را برای اقلیم مرطوب شمال کشور جهت برآورد بارش معرفی کردند. برادران و همکاران (۱۳۹۶) نیز با استفاده از مدل SIMETAW، مقدار دمای حداکثر و حداقل را با بالاترین ضریب تعیین و شاخص ویلموت را برآورد کردند.

اشکال (۱ تا ۴) نیز بیانگر شبیه‌سازی بهتری از چهار پارامتر اقلیمی نسبت به سایر متغیرها است و تنها پارامتر نقطه شبنم برای اقلیم مدیترانه‌ای (سنندج) دارای ضریب دقت کمتری می‌باشد. در تمامی اشکال (۱ تا ۴) محور افقی بیانگر ماه و محور عمودی مقادیر هر پارامتر می‌باشد. کمترین مقدار شاخص ویلموت و ضریب تعیین برای پارامتر سرعت باد و تبخیر می‌باشد. با توجه به اینکه سرعت باد از توزیع گاما استفاده می‌شود، نوسانات شدید به‌خوبی شبیه‌سازی نشده است. ابراهیم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) ضرایب تعیین را برای متغیرهای دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و بارش به ترتیب ۰/۹۹۱، ۰/۹۷۹، ۰/۷۸۹، ۰/۷۹۸ و ۰/۴۵۲ برای ایستگاه مشهد با اقلیم نیمه‌خشک به دست آوردند. سوویلم[1] و همکاران (۲۰۱۰) نیز مقادیر ضریب تعیین برای متغیرهای ذکرشده را به ترتیب ۰/۹۷۲، ۰/۹۶۷، ۰/۹۵۶، ۰/۶۵۰ و ۰/۰۰۷ برای منطقه دلتای رود نیل گزارش کرده است .با توجه به ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین مربعات خطا نرمال نیز کمترین خطا در پارامتر مقدار بارش مشاهده گردیده است. همچنین بیشترین مقدار میانگین مربعات خطا نرمال و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب برای پارامتر نقطه شبنم و تابش خورشیدی می‌باشد. با توجه به جدول (۲) بهترین شبیه‌سازی برای بارش و دمای حداکثر مربوط به ایستگاه مشهد، نقطه شبنم مربوط به ایستگاه رامسر، برای تابش و سرعت باد مربوط به ایستگاه سنندج و برای دمای حداکثر و حداقل ایستگاه بندرعباس می‌باشد. همچنین ضعیف‌ترین برآورد برای بارش و مقدار تابش ایستگاه بندرعباس، برای مقدار شبنم و دما حداقل و حداکثر ایستگاه سنندج و برای سرعت باد ایستگاه مشهد می‌باشد. به‌طورکلی بیشترین دقت مدل در شبیه‌سازی‌ها به ترتیب مربوط به اقلیم نیمه‌خشک (مشهد)، خشک (بندرعباس)، مرطوب (رامسر) و مدیترانه‌ای (سنندج) می‌باشد.

1. Swelam

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

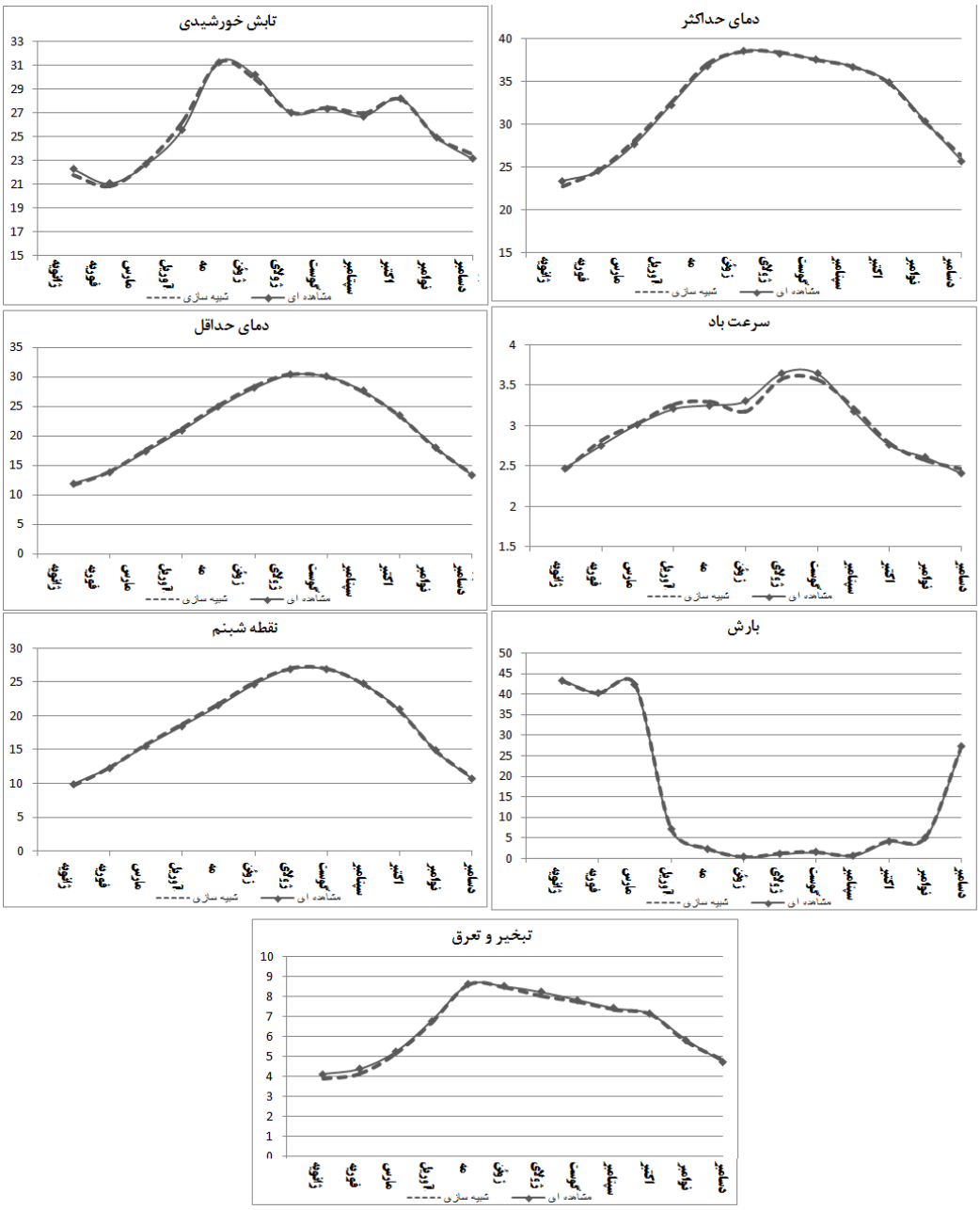


شکل (۱). مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه مشهد

با توجه به شکل (۱) بهترین شبیه‌سازی‌ها در ایستگاه مشهد مربوط متغیر بارش و دمای حداقل و حداکثر می‌باشد و پارامتر تابش خورشیدی و سرعت باد دارای شبیه‌سازی ضعیف‌تری نسبت به دیگر پارامترها می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

مقدار تابش در شش ماه اول سال بیشتر از مقدار مشاهده‌ای و در شش ماه دوم کمتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد شده این در صورتی است که پارامتر سرعت باد دارای شرایط معکوس نسبت به تابش می‌باشد.

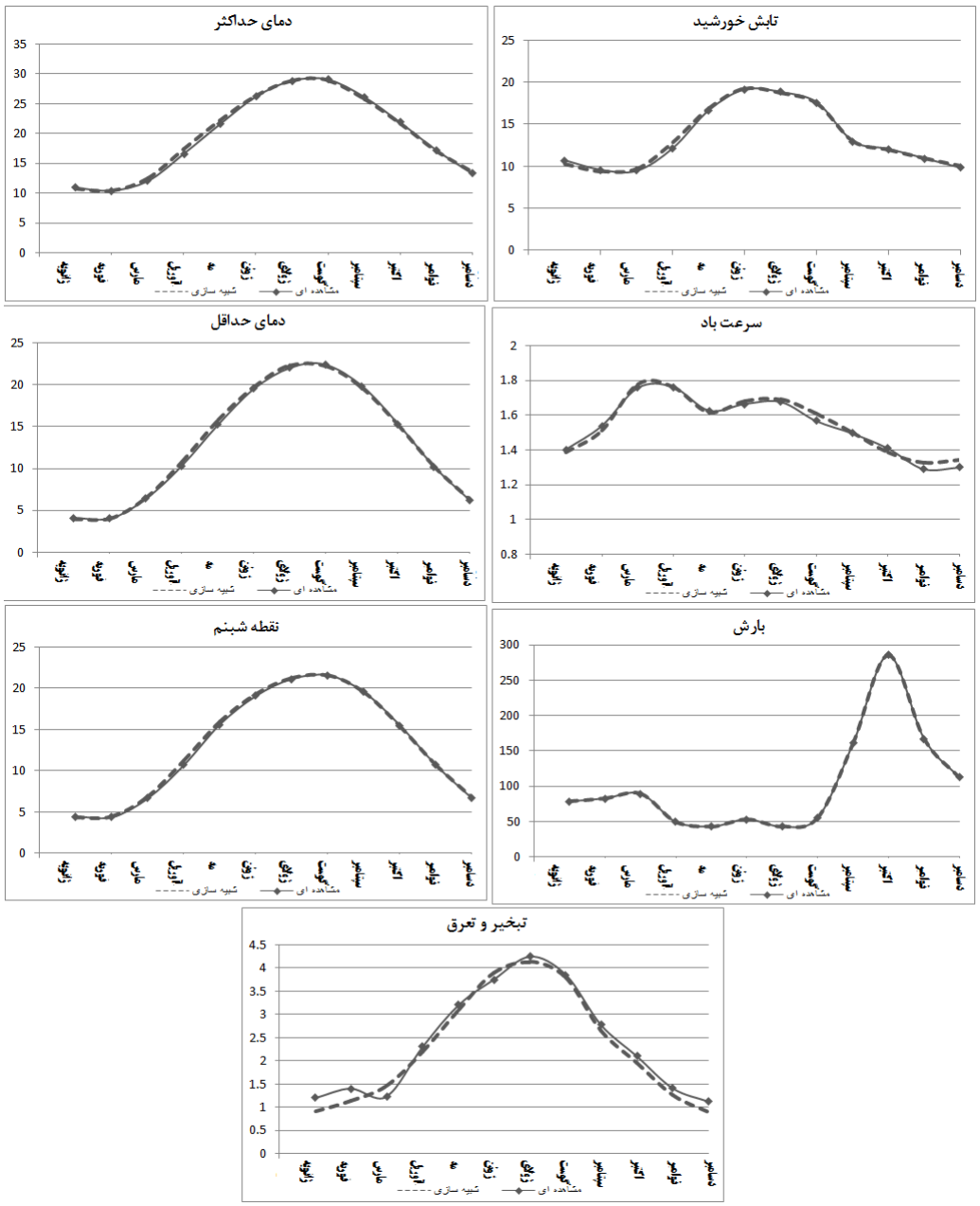


شکل (۲). مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه بندرعباس

با توجه به شکل (۲) بهترین شبیه‌سازی‌ها در ایستگاه بندرعباس مربوط متغیر بارش و نقطه شبنم می‌باشد و پارامتر تابش خورشیدی، تبخیر و سرعت باد دارای شبیه‌سازی ضعیف‌تری نسبت به دیگر پارامترها می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

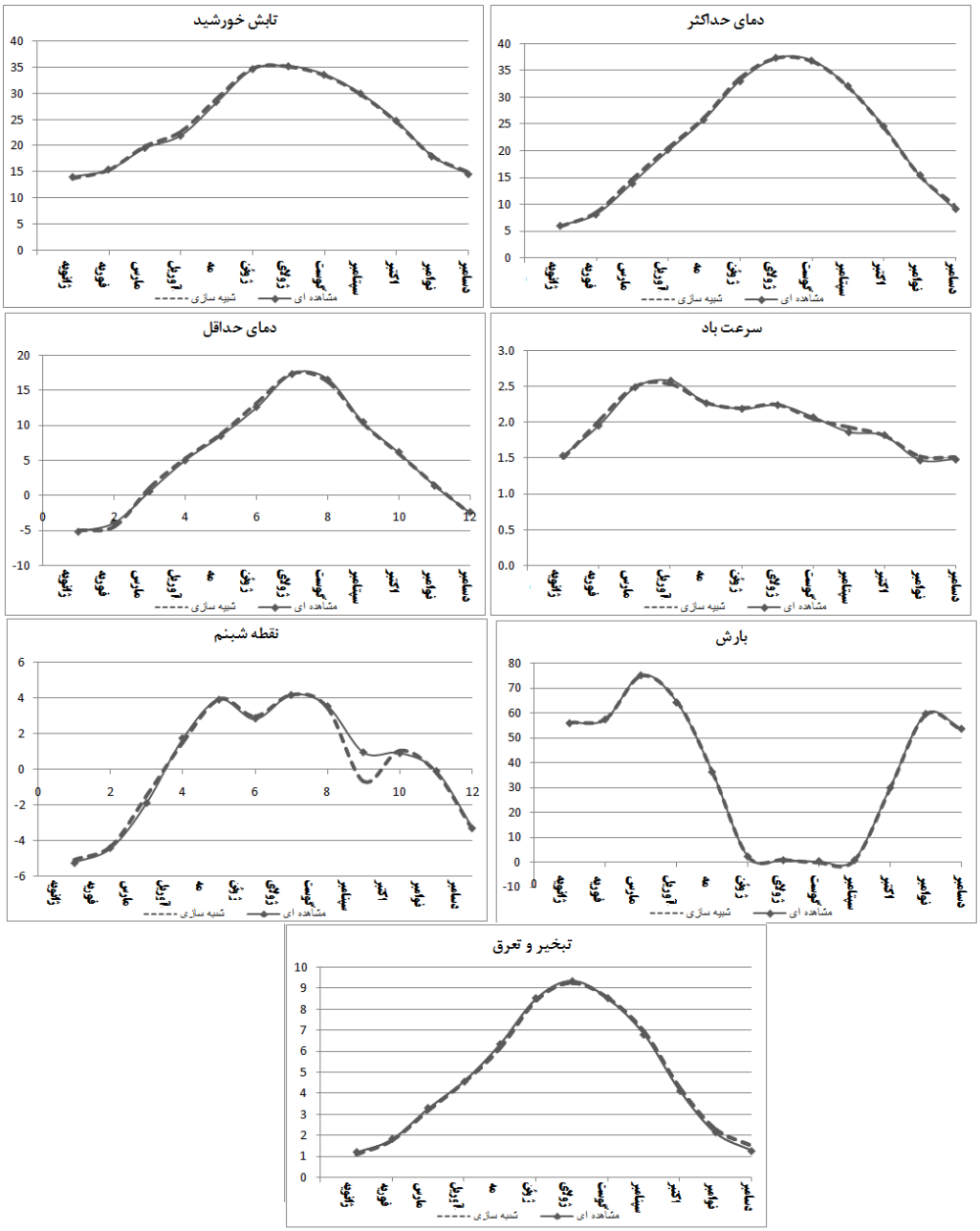
مقدار تابش در ماه ژانویه و می (ماه اول و پنجم) کمتر و در بقیه ماه‌ها بیشتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد و پارامتر سرعت باد از ماه پنجم تا هشتم (می تا آگوست) کمتر و در بقیه ماه‌ها بیشتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد شده است. پارامتر تبخیر و تعرق پتانسیل نیز در اوایل و اواسط سال دارای تفاوت در مقدار مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده می‌باشد.



شکل (۳). مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه رامسر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

در شکل (۳) مشاهده می‌شود که بهترین شبیه‌سازی‌ها در ایستگاه رامسر مربوط متغیر بارش، دمای حداقل و نقطه شبنم می‌باشد و پارامتر تبخیر و سرعت باد دارای شبیه‌سازی ضعیف‌تری نسبت به دیگر پارامترها می‌باشد.



شکل (۴). مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه سنندج

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

با توجه به شکل (۴) بهترین شبیه‌سازی‌ها در ایستگاه سنندج مربوط متغیر بارش بوده و دیگر پارامترها ازجمله نقطه شبنم دارای تفاوت‌های آشکاری در مقدار شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام‌شده بر روی خروجی مدل بیانگر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش، دمای نقطه شبنم، تابش خورشیدی و تبخیر و تعرق پتانسیل در هر چهار ایستگاه موردمطالعه می‌باشد؛ اما در مورد تخمین متغیر سرعت باد مدل از دقت کمتری برخوردار بود. نتیجه بهترین شبیه‌سازی‌ها برای بارش و دمای حداکثر مربوط به ایستگاه مشهد، نقطه شبنم مربوط به ایستگاه رامسر، برای تابش و سرعت باد مربوط به ایستگاه سنندج و برای دمای حداقل ایستگاه بندرعباس می‌باشد. بهترین شبیه‌سازی برای تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به اقلیم خشک (بندرعباس) و اقلیم‌های نیمه‌خشک (مشهد)، مدیترانه‌ای (سنندج) و مرطوب (رامسر) به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. بر اساس تحلیل حساسیت مدل SIMETAW، پارامترهای ورودی مدل به ترتیب تأثیر آن‌ها بر تبخیر و تعرق پتانسیل از دمای حداکثر، بارش، دمای نقطه شبنم و دمای حداقل، تابش خورشیدی و سرعت باد می‌باشد. با توجه به همبستگی بالا بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و ثبت‌شده، استفاده از مدل SIMETAW برای شبیه‌سازی داده‌های آب‌وهوا، برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل، نیاز خالص آبیاری و نیز پر کردن خلأهای آماری در چهار اقلیم موردبررسی پیشنهاد می‌گردد. به‌علاوه، SIMETAW می‌تواند به‌عنوان یک ابزار خوب برای مهندسان آبیاری و تصمیم‌گیرندگان برای برآورد نیازهای آبیاری با استفاده از سوابق ماهانه درصورتی‌که داده‌های روزانه در دسترس نباشند، استفاده شود. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج سایر تحقیقات همخوانی خوبی دارد. شاه نقی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه مشابهی در مشهد، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دست‌آمده از فرمول فائو-پنمن- مانتیث در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در تمامی ماه‌ها نسبت به دوره پایه را دارای روند صعودی به دست آورده است. ابراهیم پور و همکاران (۱۳۹۱) در ایستگاه مشهد در دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۰۴ آماری برای دو دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۰ و ۲۰۸۰-۲۰۵۰، در مقایسه مقادیر روزانه شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده در دوره پایه قابلیت مناسب مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل (R^2 =۰ /۹۷۹)، دمای حداکثر (R^2 =۰ /۹۹۱)، دمای نقطه شبنم (R^2 =۰ /۷۸۹)، سرعت باد (R^2 =۰ /۷۹۸)، بارش (R^2 =۰ /۴۵۲) و تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه (R^2 =۰ /۹۹۱) را نشان دادند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

منابع

ابراهیم پور، میثم؛ قهرمان، نوذر؛ لیاقت، عبدالمجید. ۱۳۹۱. **استفاده از مدل SIMETAW جهت شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق پتانسیل (مطالعه موردی: مشهد)**، تحقیقات آب‌وخاک، (۴)۴۳: ۳۶۰-۳۵۳.

براتی، خدیجه؛ طاهری سودجانی، هاجر؛ محمد، شایان نژاد. ۱۳۹۴. **معادلات اساسی به‌کار گرفته‌شده در مدل swap و راهنمای کاربردی مدل** .نشریه آب و توسعه، (۱)۲: ۸۰-۶۷.

برادران، فاطمه؛ سلطانی محمدی، امیر؛ ایزدپناه، زهرا. ۱۳۹۵. **کاربرد مدل SIMETAW در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل**، همایش ملی پدافند غیرعامل در بخش کشاورزی.

برادران، فاطمه؛ سلطانی محمدی، امیر؛ ایزدپناه، زهرا. ۱۳۹۶. **ارزیابی مدل SIMETAW در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل در چهار اقلیم مختلف**، علوم و مهندسی آبیاری، (۲)۴۰: ۲۴۹-۲۳۷.

حسینی، ا؛ ابراهیمی تبار، ابراهیم .**۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل شهرستان سقز با استفاده از روش-های تجربی** .نخستین همایش علمی تخصصی- توسعه روستایی و کشاورزی با تأکید بر تولید ملی، پیرانشهر، دانشگاه پیام نور پیرانشهر.

روحانی، حامد؛ قندی، اعظم؛ سیدیان، سید مرتضی؛ کاشانی، مجتبی. ۱۳۹۶. **بررسی عدم قطعیت شبیه‌سازی بارش آینده (مطالعه موردی: ایستگاه همدیدی بجنورد و مشهد)**، پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، (۲۴)۱: ۱۸۹-۲۰۴.

زاهدی، مجید؛ بیاتی خطیبی، مریم. **هیدرولوژی**، انتشارات سمت، ۲۲: ۳۸۲.

شاه نقی، نغمه؛ پارسی نژاد، مسعود؛ عراقی نژاد، شهاب؛ میرزایی، فرهاد. ۱۳۹۰. پیش‌بینی تأثیر اقلیم بر تبخیر و تعرق در دشت مشهد. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

علیزاده، امین. طراحی سیستم‌های آبیاری، ۱: ۴۵۲.

Ebrahimpour, M. Ghahreman, N. and M. Orang. 2013. **Assessment of climate change impacts on reference evapotranspiration and simulation of daily weather data using SIMETAW**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 140(2):1-10.

Ghahreman, N. Ebrahimpour, M. and M. Orang. 2012. **Application of SIMETAW model for generating daily weather data and reference evapotranspiration (ETo) in two different climates in Iran**. Proceeding, Irrigation Australia,seventh Asian Regional Conference, ICID, Adelaide, pp. 24-29.

Hanoi.Me,DiTian, Puneet.S. Anna.P,Giovanni B.C,2018, **Medium-range reference evapotranspiration forecasts for the contiguous United States based on multi-model numerical weather predictions**,Journal of Hydrology.Volume 562, July 2018, Pages 502-517

Irmak, S. Payero, J.O. Martin, D.L. Irmak, A. and T.A. Howell. 2006. **Sensitivity analyses and sensitivity coefficients of standardized daily ASCE-Penman-Monteith equation**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 132(6):564–578.

Li, S. 2010. **Studies on main crops' evapotranspiration in Hexi corridor based on the SIMETAW model**. Master's Thesis, Agricultural Sciences,121p.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]

Noemi, M. 2013. **Agricultural water demand assessment using the SIMETAW model**. Doctoral Thesis, University of SASSARI, 203p.

Okkan, U. and O. Fistikoglu. 2014, **evaluating climate change effects on runoff by statistical downscaling and hydrological model GR2M**. Theoretical and Applied Climatology, 117(1-2): 343-361

Rowell, D.P., Senior, C.A.,Vellinga, M.,and Graham, R.J. 2016. **Can climate projection uncertainty be constrained over Africa using metrics of contemporary performance**, Climate Change. 113: 621-633.

Rwasoka, D.T. Madamombe, C.E. Gumindoga, W. and A.T. Kabobah. 2014. **Calibration, validation, parameter indentifiability and uncertainty analysis of a 2–parameter parsimonious monthly rainfall-runoff model in two catchments in Zimbabwe**. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 67: 36-46.

Safeeq, M. Fares, A. (2011). **Accuracy evaluation of ClimGen weather generator and daily to hourly disaggregation methods in tropical conditions**.Journal of Theoretical Applied Climatology,106:321–341.

Savage M.J. 1993. **Statistical aspects of model validation. Presented at a workshop on the field water balance in the modeling of cropping systems**, University of Pretoria, South Africa.

Snyder, R. Orang, M. Geng, S. Matyac, S. and S. Sarreshteh. 2004. **SIMETAW (Simulation of Evapotranspiration of Applied Water)**. Journal of California Water Plan Update, 4: 211–226.

Swelam, A. Snyder, R.L. and M. Orang. 2010. **Modeling evapotranspiration of applied water in Egypt delta: Calibrating SIMETAW model under Nile Delta conditions**. The Center for Special Studies and Program (CSSP), Available on: www.waterplan.water.ca.gov.

Xiaolin, Y. Fu, C. and C. Qingquan. 2013. **The spatial and temporal variation of water requirement of winter wheat based SIMETAW model in Huang–Huai–Hai farming region**. American Scientific Publishers,11(6-7): 1149-1155.

Yugang.N, Xiangyun.Q, 2018, **Hourly day-ahead solar irradiance prediction using weather forecasts by LSTM**, Energy.Volume 148, 1 April 2018, Pages 461-468.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.22.5]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.425]