Irrigation Sciences and Engineering
Vol.40, No. 2, Summer 2017, p. 237-249

علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۰، شماره‌ی۲، تابستان ۹۶، ص. ۲۴۹-۲۳۷

ارزیابی مدل SIMETAW در شبیه سازی پارامترهای هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل در چهار اقلیم مختلف

فاطمه برادران[۱]، امیر سلطانی محمدی[۲*] و زهرا ایزدپناه[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲*- نویسنده مسئول،استادیار گروه آبیاری زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.a_soltani60@yahoo.com
۳ - استادیار گروه آبیاری زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۷

چکیده

مدل‌های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شده که تفاوت عمده آن‌ها در تعداد پارامترهای هواشناسی مورد نیاز می‌باشد، اما با کمبود داده معتبر و طولانی مدت در برخی ایستگاه‌ها، به کارگیری مدلی که با داده‌های اندک نیاز ما را برآورده نماید و بتواند به کمک برنامه‌ریزان این بخش بیاید ضروری به نظر می‌رسد. از مدل SIMETAW برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی از آمارهای اقلیمی ثبت شده و برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق گیاه با داده‌های شبیه سازی شده استفاده می‌شود. در این مقاله با استفاده از داده‌های متوسط ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک رشت (اقلیم بسیار مرطوب) ،شهرکرد (اقلیم نیمه خشک) ،اهواز (اقلیم خشک) و سنندج (اقلیم مدیترانه‌ای) در دوره آماری ۱۳۳۹ تا ۱۳۷۹،توان مدل در شبیه‌سازی شش متغیر آب و هوایی (دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، تابش و بارش) و تبخیر و تعرق پتانسیل مورد ارزیابی قرار گرفت و تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه با استفاده از داده‌های هواشناسی شبیه‌سازی شده، محاسبه و با مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده مقایسه شد. برای مقایسه نتایج از شاخص‌های ضریب تعیین،ریشه متوسط مربعات خطا و شاخص توافق استفاده شد. نتایج نشان داد مدل SIMETAW توانایی بالایی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دارد و بالاترین دقت مدل در شبیه‌سازی دمای حداکثر (R^2=۰/۹۹۵٤) و بارش (R^2=۰/۳۷۱٦) مربوط به اقلیم مدیترانه‌ای،دمای حداقل (R^2=۰/۹۹٤۷) و دمای نقطه شبنم (R^2=۰/۹۹٤۲) مربوط به اقلیم بسیار مرطوب،سرعت باد (R^2=۰/۸۰۹٤) مربوط به اقلیم خشک و تابش خورشیدی (R^2=۰/۹۹۰۲) مربوط به اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. بالاترین دقت مدل SIMETAW در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق پتانسیل به ترتیب مربوط به اقلیم مدیترانه‌ای (R^2=۰/۹۹۳٦)،نیمه‌خشک (R^2=۰/۹۹۳۵)،خشک (R^2=۰/۹۹۰۳) و بسیار مرطوب (R^2=۰/۹۸٤٦) است. با توجه به همبستگی بالا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و ثبت شده،استفاده از مدل SIMETAW برای شبیه‌سازی داده‌های آب و هوا،برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل،نیاز خالص آبیاری و نیز پر کردن خلاءهای آماری در چهار اقلیم مورد بررسی پیشنهاد می‌گردد.

کلید واژه‌ها: مدل SIMETAW ،تبخیر و تعرق پتانسیل،رشت،شهرکرد،سنندج،اهواز.

Evaluation of SIMETAW Model For Simulation of Meteorological Parameters and Potential Evapotranspiration in Four Different Climates

F. Baradaran[1], A. Soltani Mohammadi[2*] and Z. Izadpanah[3]

1-M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.
2*- Corresponding Author, Assistant Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.
3- Assistant Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

Received:6 June 2016 Accepted: 17 September 2016

Abstract

Different models are provided for estimation of evapotranspiration that the main difference between them is the number of meteorological parameters needed,but due to the lake of the reliable long-term data in some stations,use of model with little data is needed and it will be

necessary to help planners. The Simulation of EvapoTranspiration of Applied Water (SIMETAW) model is used for simulation of weather data from climatic records and estimation of reference and crop evapotranspiration with the simulation data. In this study, using the monthly values of four synoptic stations (Rasht: Very wet climate; Shahrekord: Semi arid climate; Ahvaz: Arid climate and Sanandaj: Moderate climate) in the period of 1961 to 2001, the ability of model for simulation of climate variables (maximum temperature, minimum temperature, dew point temperature, wind speed, solar radiation and precipitation) and potential evapotranspiration was evaluated and daily ET_0 simulated using meteorological data, were compared with calculated values of potential evapotranspiration from observed meteorological data. To compare the results, were used from Coefficient of Determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) and index of agreement (d). The results showed that model simulations in all stations has acceptable accuracy. The highest accuracy in simulation maximum temperature(R^2=0.9954)and precipitation(R^2=0.3716) related to mediterranean climate, minimum temperature(R^2=0.9947) and dew point temperature(R^2=0.9942) Related to humid climate, wind speed(R^2=0.8094) related to dry climate and solar radiation(R^2=0.9902) related to semi-arid climate. The highest accuracy of SIMETAW model in simulated evapotranspiration related to Mediterranean climate(R^2=0.9936), semi-arid climate(R^2=0.9935), dry climate(R^2=0.9903) and very wet climate(R^2=0.9846) Respectively. Given the high correlation between simulated and observed values, SIMETAW model can be used for simulation of the climate data and estimate the potential evapotranspiration, net irrigation requirement and also filling the gaps in four climatic regions.

Keywords: SIMETAW model,Potential evapotranspiration,Rasht,Shahrekord,Sanandaj,Ahvaz.

مقدمه

یکی از راه‌های کاهش تلفات آب در مزارع، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری می‌باشد. اساس این برنامه‌ریزی را برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان تشکیل می‌دهد که ضریبی از تبخیر و تعرق پتانسیل است. تبخیر و تعرق پتانسیل یک پدیده چند متغیره و پیچیده است که به عوامل متعدد اقلیمی بستگی دارد و دقیق‌ترین روش برای برآورد آن،لایسیمتر است که استفاده از آن مستلزم وقت و هزینه‌ی زیادی است. از این رو تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از پارامتر های هواشناسی و به کار بردن مدل‌های تجربی انجام می‌گیرد (هژبر و همکاران،۱۳۹۳). برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل برای مطالعاتی نظیر بیلان آبی،مدیریت و طراحی سیستم‌های آبیاری و مدیریت منابع آبی،مورد نیاز می‌باشد (حسینی و ابراهیمی تبار،۱۳۹۱). امروزه استفاده از مدل تقریباً در تمامی علوم،امری متعارف می‌باشد. استفاده از مدل‌ها،زمینه‌ی لازم را برای پاسخ‌های سریع،مطلوب و اقتصادی به بسیاری از سوالات فراهم آورده است. مدل سازی در علوم مختلف کشاورزی از جمله آبیاری و زهکشی در حال توسعه می‌باشد (براتی و همکاران،۱۳۹۴). مدل‌های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شده که تفاوت عمده آنها در تعداد پارامتر های هواشناسی مورد نیاز می‌باشد. این مدل‌ها شامل معادله‌های ساده و تجربی مانند تورنت وایت[1] و بلانی کریدل[2] که تنها به پارامتر دمای هوا نیاز دارند و معادله‌های پیچیده‌تر مانند فائو پنمن- مانتیث[3] می‌باشند که علاوه بر دمای هوا به تابش خورشیدی،سرعت باد و رطوبت نسبی نیازمند هستند. این معادله‌ها برای استفاده در شرایط اقلیمی مختلف،نیاز به واسنجی و ارزیابی دارند (ایرماک و همکاران[4]،۲۰۰۶). اما با کمبود داده معتبر و طولانی مدت 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). مدل SIMETAW[5]،داده‌های هواشناسی روزانه را با استفاده از داده‌های ماهانه هواشناسی شبیه‌سازی می کند و سپس با استفاده از داده‌های هواشناسی شبیه‌سازی شده،تبخیر و تعرق پتانسیل را محاسبه می‌کند. از دیگر توانایی‌های مدل،محاسبه تبخیرتعرق گیاه، برنامه‌ریزی آبیاری برای هر سال از داده‌های شبیه‌سازی شده،تعیین مقادیر ضرایب گیاهی برای طیف گسترده‌ای از گیاهان، تأثیر دادن عوامل موثر بر مقدار ضریب گیاهی،تخمین باران موثر و میزان آب مورد نیاز آبیاری (ET_{Aw})[6] می‌باشد (اشنایدر و همکاران[7]،۲۰۱۲).

مدل SIMETAW تاکنون در دلتای نیل در مصر (سوویلم و همکاران[8]،۲۰۱۰)،کالیفرنیا در ایالات متحده (اشنایدر و همکاران،۲۰۰۴) و شمال غربی لیائولینگ[9] در چین (جین لی و

1- Torrent White
2- Blany- Criddle

3- FAO Penman-Monteith
4- Irmak *et al.*
5- Simulation of Evapotranspiration of Applied Water
6- ET of Applied Water
7- Snyder *et al.*
8 -Swelam *et al.*
9 -Liaoning

همکاران[1]،۲۰۰۹) استفاده شده است. در ایران نیز کارایی این مدل در زمینه شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک ارزیابی شده است و ارزیابی کارایی مدل در سایر اقلیم‌ها پیشنهاد گردیده است (ابراهیم پور و همکاران،۱۳۹۱). جین لی و همکاران (۲۰۰۹) به آزمون و کاربرد مقدماتی مدلSIMETAW در شمال غرب لیائونینگ 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 شبیه‌سازی شده بسیار نزدیک به داده‌های اندازه‌گیری مزرعه‌ای بوده و خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. لی[2] (۲۰۱۰) به انجام مطالعاتی روی تبخیر و تعرق محصولات اصلی در هکزی کوریدور[3] براساس مدلSIMETAW پرداخت و اعلام کرد که خطاهای نسبی بین مقدار تبخیر و تعرق محصولات شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای گندم بهاره ،ذرت بهاره و سیب زمینی،به ترتیب ۱/۴۶درصد ،۲/۳۳درصد و ۱۰/۸۵درصد می‌باشد. همچنین اعتبار سنجی مدل SIMETAW نشان داد که مدل عملکرد خوبی در شبیه‌سازی تغییرات برای تبخیر و تعرق محصولات اصلی در شهرستان ژنگیی[4] دارد.

شیائولین و همکاران[5] (۲۰۱۳) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی نیاز آبی گندم زمستانه بر اساس مدل SIMETAW در منطقه کشاورزی هوانگ-هوای-چینگ های[6] پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد این مدل برای شبیه‌سازی آب استفاده شده در فرایند رشد گندم در منطقه مذکور رضایت بخش بوده است. نوئمی[7] (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 ی ساردینا[8] استفاده کرد. نتایج نشان داد که مدل،اطلاعات دقیقی در مورد نیاز آبی گیاه بوسیله‌ی تبخیر و تعرق ناحیه‌ای تهیه می‌کند؛هم‌چنین استفاده از این مدل می‌تواند یک راه پایدار برای صرفه جویی در آب و بهبود مدیریت آبیاری و بهره وری 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 به جز سرعت باد روزانه،مدل به طور دقیق متغیرهای دمای روزانه و بارش ماهانه را تولید می‌کند.

در این مطالعه از مدل SIMETAW و داده‌های هواشناسی ماهانه رشت،اهواز،سنندج و شهرکرد به عنوان ورودی مدل برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شده است تا توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی روزانه (دمای حداکثر،حداقل و نقطه شبنم،سرعت باد،تابش و بارش) ارزیابی شود و در انتها تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با استفاده از داده‌های تولید شده با مدل SIMETAW با تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده از داده‌های واقعی و روش فائو پنمن-مانتیث مقایسه شده است. ضرورت انجام تحقیق در اقلیم‌های مختلف،به این دلیل است که بررسی شود،مدل SIMETAW هر کدام از پارامترهای هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل را در کدام اقلیم بهتر شبیه‌سازی می‌کند.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل SIMETAW

مدل SIMETAV V.1.0 با همکاری دانشگاه دیویس کالیفرنیا و بخش منابع آب ایالت کالیفرنیا در سال ۲۰۰۵ توسعه یافته است. مدل SIMETAW یک ابزار جدید و ابتکاری برای تخمین تبخیر و تعرق آب کاربردی (ET_{AW}) می‌باشد. SIMETAW داده‌های آب و هوای روزانه را با استفاده از داده-های ماهانه‌ی آب و هوا شبیه‌سازی می‌کند. در مدل SIMETAW همه‌ی محاسبات تبخیر و تعرق آب کاربردی بر پایه‌ی روزانه انجام می‌شود. ورودی‌های برنامه باید به صورت فایل آماده شوند. در SIMETAW ،۱۰ پسوند ورودی وجود دارد وکاربر 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 متر مربع در روز)،دمای حداکثر (درجه سانتی گراد)،دمای حداقل (درجه سانتی گراد)،دمای نقطه شبنم (درجه سانتی گراد)،سرعت باد (متر بر ثانیه)، بارندگی (میلی متر)،تبخیر از تشت (میلی متر) و تبخیر تعرق پتانسیل(میلی متر) (بی‌نام ،۲۰۰۵).

اگر فقط داده های دما در دسترس باشند، SIMETAW تبخیر تعرق پتانسیل روزانه را با استفاده از معادله هارگریوز-سامانی محاسبه می‌کند (اشنایدر و همکاران،۲۰۰۴). در مدل SIMETAW برای توصیف الگوهای بارش از یک رهیافت مشترک توزیع احتمالی گاما و مدل سازی زنجیره‌ی مارکوف دو حالته درجه اول استفاده می‌شود، برای دوره‌هایی که الگوهای بارش نسبتاً یکنواخت هستند،برای شبیه‌سازی داده‌های روزانه‌ی سرعت باد فقط از تابع توزیع گاما استفاده می‌شود و داده‌های دما،تابش خورشیدی و رطوبت،معمولا از توزیع سری فوریه پیروی می‌کنند (قهرمان و همکاران[9]،۲۰۱۲).

1- Jin-Li *et al.*
2 - Li
3- Hexi Corridor
4- Zhangye
5- Xiaolin *et al.*
6- Huang-huai-hai
7- Noemi
8- Sardina
9- Ghahreman *et al.*

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا(متر)	اقلیم (بر اساس طبقه بندی دومارتن)
اهواز	۳۱ ° ۲۰´ N	۴۸ ° ۴۰´ E	۲۳	خشک
سنندج	۳۵ ° ۲۰´ N	۴۷ ° ۰´ E	۱۳۷۳	مدیترانه‌ای
شهرکرد	۳۲ ° ۱۷´ N	۵۰ ° ۵۱´ E	۲۰۴۹	نیمه خشک
رشت	۳۷ ° ۱´ N	۴۹ ° ۳۷´ E	-۹	بسیار مرطوب

معرفی منطقه

مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۱) آمده است. ایستگاه‌های انتخابی براساس طبقه بندی دومارتن در چهار اقلیم متفاوت قرار دارند. ایستگاه رشت در شمال کشور،سنندج در شمال غرب کشور و اهواز و شهرکرد در جنوب غرب کشور واقع می‌باشند.

روش انجام تحقیق

در این تحقیق به منظور ارزیابی توانایی مدل SIMETAW در شبیه‌سازی داده‌های روزانه،اطلاعات هواشناسی ماهانه شامل دمای حداکثر و حداقل،دمای نقطه شبنم،سرعت باد،تابش و بارندگی برای دوره ۲۰۰۱-۱۹۶۱ ایستگاه های سینوپتیک رشت، شهرکرد، اهواز و سنندج از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. با این داده‌های ماهانه مدل اجرا شد و در نهایت داده‌های روزانه تولید شده با داده‌های روزانه دریافتی از سازمان هواشناسی کشور مقایسه شدند. همچنین با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده با مدل SIMETAW،تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه محاسبه و نتایج با مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با داده‌های مشاهده ای و روش فائو پنمن-مانتیث مقایسه شد. از آنجا که مدل برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از معادله فائو پنمن- مانتیث استفاده می‌کند،برای به دست آوردن مقادیر مشاهده شده نیز از همین روش و برنامه ET_0 CALCULATOR استفاده شد. این نرم افزار در ژانویه ۲۰۰۹ توسط بخش آب و خاک سازمان خواروبار جهانی معرفی شد. کارکرد اصلی این نرم افزار محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس استانداردهای سازمان خواروبار جهانی می‌باشد. از آن جا که روش پنمن- مانتیث، تبخیر و تعرق چمن را در مناطق مختلف با تقریب بسیار خوبی برآورد می کند،در این نرم افزار نیز این روش مبنای محاسبات قرار گرفته است (حیدری نیا، ۱۳۸۹). .به منظور مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی داده‌های روزانه با مدل SIMETAW و مقادیر مشاهده شده روزانه، از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)[1] ،ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)[2] و شاخص توافق ویلموت[3] (d) که از روابط زیر به دست می‌آیند، استفاده شد:

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

$$R^2 = 1 - \frac{MSE}{F_0} \quad (۲)$$

$$F_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t}_i)^2}{n} \quad (۳)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|p_i - o_{avg}| + |o_i - o_{avg}|)^2} \quad (۴)$$

که در این روابط،n: تعداد کل داده‌ها، P_i و O_i: به ترتیب مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده هستند و O_{avg}: میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد،MSE: توان دوم RMSE و $\bar{t}_i$: میانگین سری t_i و t_i : خروجی واقعی است.

برای تعیین ضریب حساسیت(SC)[4] مدل SIMETAW از رابطه لیو و همکاران[5](۲۰۰۷) استفاده شد:

$$Sc = \frac{\frac{\Delta W}{\overline{W}}}{\frac{\Delta P}{\overline{P}}} \quad (۵)$$

1- Coefficient of Determination
2- Root Mean Square Error
3- Willmott
4- Sensitivity coefficient
5- Liu *et al.*

که در آن Sc: ضریب حساسیت، ΔW: اختلاف مقدار پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر داده ورودی، $\overline{W}$: متوسط پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر داده ورودی، ΔP: اختلاف مقدار ورودی یک پارامتر به مدل و $\overline{P}$: متوسط مقدار ورودی یک پارامتر به مدل است. پس از محاسبه ضریب حساسیت،مقادیر به دست آمده با دامنه تعریف شده توسط لیو و همکاران (۲۰۰۷) مقایسه گردید (سلطانی محمدی،۱۳۹۰).

بدون حساسیت	Sc =۰
حساسیت کم	۰<Sc <۰/۳
حساسیت متوسط	۰/۳<Sc <۱/۵
حساسیت زیاد	۱/۵<Sc

نتایج و بحث

ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی:

یک سال میانگین دراز مدت ماهانه داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک رشت،شهرکرد،اهواز و سنندج به عنوان ورودی به مدل SIMETAW داده شد. با استفاده از SIMETAW برای ۴۱ سال،داده‌های هواشناسی روزانه شبیه‌سازی و یک سال میانگین دراز مدت روزانه و ماهانه تولید شد. در نهایت یک سال میانگین دراز مدت روزانه داده‌های مشاهده‌ای واقعی با یک سال میانگین درازمدت روزانه داده‌های هواشناسی شبیه‌سازی شده با مدل مقایسه شدند که نتایج حاصل از آن در جدول (۲) آورده شده است.

بر اساس جدول(۲)،مدل در شبیه‌سازی دمای حداکثر و حداقل دارای بالاترین ضریب تعیین و شاخص توافق می‌باشد. بررسی تغییرات دمای حداکثر و دمای حداقل نشان داد که این متغیرها قانون مندی بیشتری نسبت به سایر متغیرها دارند و تغییرات از یک روز به روز دیگر دارای نوسان کمتری است که منتج به بهترین شبیه‌سازی ها شده است (شکل های ۱ تا ۴). در همه‌ی شکل‌ها محور افقی بر حسب روزهای سال میلادی می‌باشد. در کل،مدل در شبیه‌سازی متغیرهای دمایی (دمای حداکثر،حداقل و نقطه شبنم) و تابش خورشیدی قدرت بالایی دارد. در شبیه‌سازی سرعت باد روزانه،از آنجایی که فقط از توزیع گاما استفاده می‌شود،مدل نوسانات شدید روزانه را نمی‌تواند به خوبی شبیه‌سازی کند،هر چند رژیم تغییرات سالانه به خوبی شبیه‌سازی شده است؛در واقع مقادیر شبیه‌سازی شده در حد متوسط مقادیر مشاهده شده نوسان دارند. ضعیف‌ترین شبیه‌سازی مربوط به متغیر بارش روزانه است. در همه‌ی مدل‌های شبیه‌سازی،مدل کردن بارش دشوارترین مرحله به حساب می‌آید (سوویلم،۲۰۱۲). از طرفی عدم وجود بارش چشمگیر در زمان طولانی از سال در ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز فرایند شبیه‌سازی را دشوارتر می‌کند.

ابراهیم پور و همکاران (۱۳۹۰) ضرایب تعیین را برای متغیرهای دمای حداکثر،دمای حداقل،دمای نقطه شبنم،سرعت باد و بارش به ترتیب ۰/۹۹۱، ۰/۹۷۹/۰/۷۸۹/۰/۷۹۸و۰/۴۵۲ برای ایستگاه مشهد با اقلیم نیمه خشک به دست آوردند و سوویلم (۲۰۱۲) نیز مقادیر ضریب تعیین برای متغیرهای ذکر شده را به ترتیب ۰/۹۵۲/۰/۹۶۷/۰/۹۵۶، ۰/۶۵۰ و ۰/۰۰۷ برای منطقه دلتای رود نیل گزارش کرده است.

برای بررسی دقت مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی و تبخیر و تعرق پتانسیل، شاخص‌های به دست آمده در جدول (۲) از یک تا چهار رتبه بندی شدند. به این ترتیب که،هر چه ضریب تعیین و شاخص توافق بالاتر و مقدار خطا کمتر بوده،رتبه کمتر به آن اختصاص داده شده است. ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی هر متغیر با توجه به مجموع رتبه‌های به دست آمده در هر ایستگاه انجام گرفت. نتایج رتبه بندی شاخص‌ها و مجموع رتبه‌های به دست آمده برای هر متغیر به ترتیب در جدول های (۳) و (۴) نشان داده شده است.

با توجه به رتبه بندی انجام شده،هر چه مجموع رتبه‌های به دست آمده کوچک تر باشد بیانگر دقت بالاتر مدل در شبیه‌سازی متغیر مورد نظر است. طبق جدول (۴)،کوچک ترین مجموع رتبه‌های به دست آمده و در نتیجه بهترین شبیه‌سازی ها برای دمای حداکثر(۳) و بارش (۵) مربوط به ایستگاه سنندج،برای دمای حداقل (۳) ودمای نقطه شبنم (۳) مربوط به ایستگاه رشت،برای سرعت باد (۵) مربوط به ایستگاه اهواز و برای تابش خورشیدی (۳) مربوط به ایستگاه شهرکرد می‌باشد. همچنین بیشترین مجموع رتبه‌های به دست آمده که بیانگر دقت پایین مدل در شبیه‌سازی متغیرها است،برای تابش خورشیدی (۱۲)،دمای حداکثر (۱۲)،سرعت باد (۹)،بارش (۱۲) و تبخیر و تعرق پتانسیل (۱۱) مربوط به ایستگاه رشت، برای دمای نقطه شبنم (۱۰) مربوط به ایستگاه اهواز و برای دمای حداقل (۱۱) مربوط به ایستگاه سنندج می‌باشد.

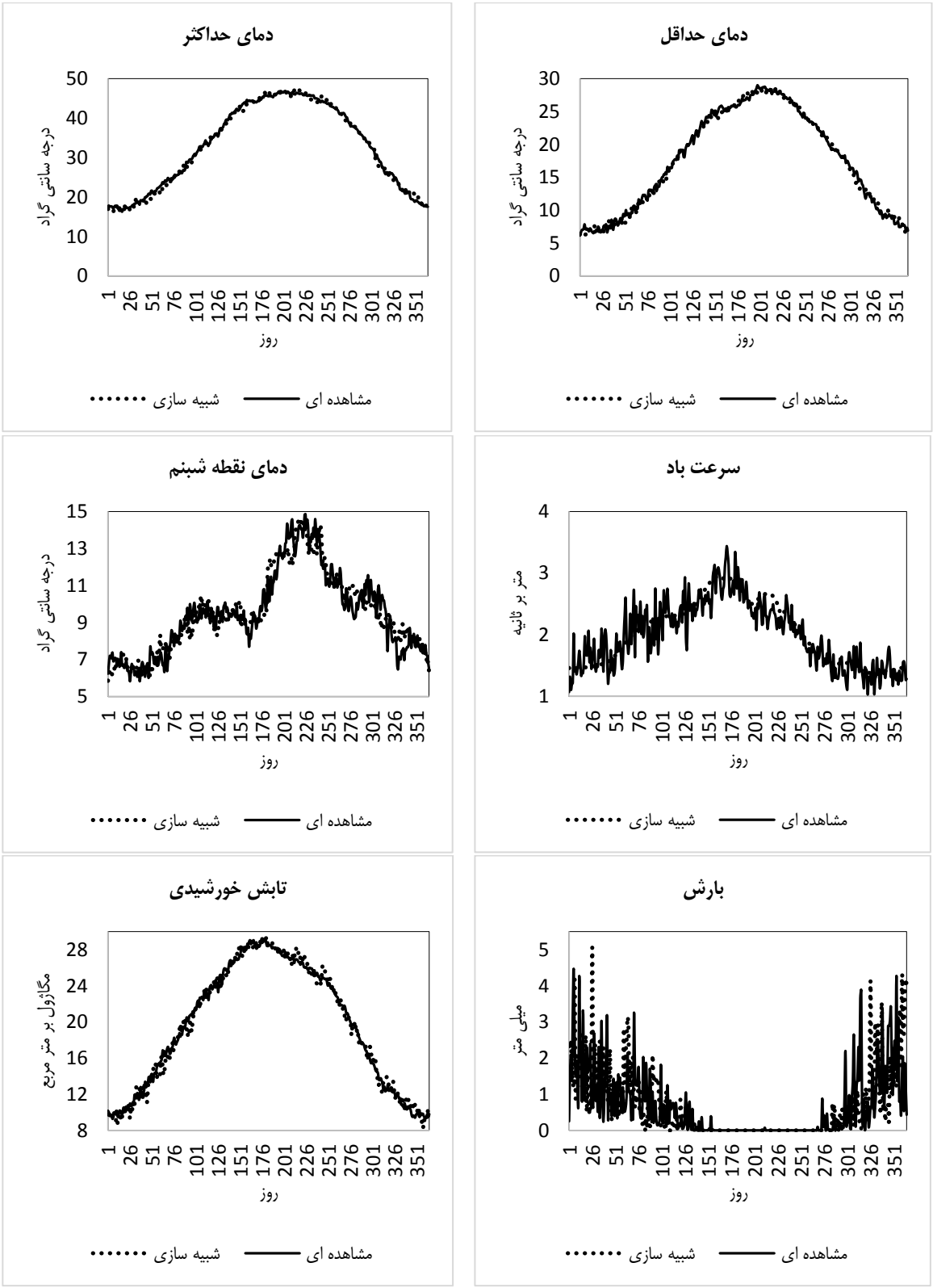
بر اساس مجموع رتبه‌های به دست آمده برای همه متغیرهای شبیه‌سازی شده در هر ایستگاه،بیشترین دقت مدل در شبیه‌سازی ها مربوط به اقلیم نیمه خشک (شهرکرد) می‌باشد و اقلیم‌های مدیترانه‌ای (سنندج)،خشک (اهواز) و بسیار مرطوب (رشت) به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند.

جدول۲- مقایسه بین داده های هواشناسی روزانه مشاهده شده و شبیه سازی شده

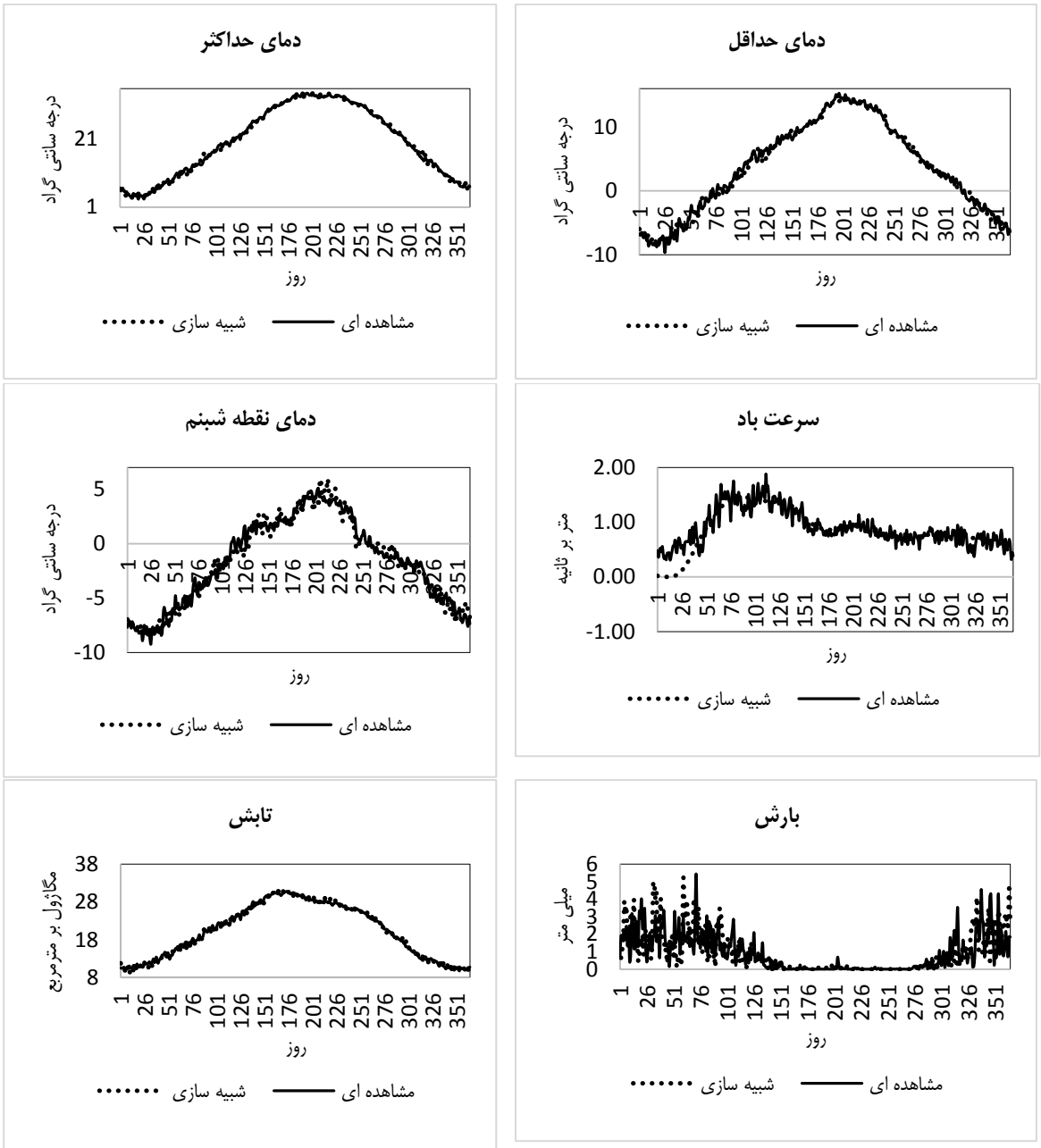
	شاخص توافق ویلموت				ریشه‌ی میانگین مربعات خطا				ضریب تعیین			
متغیر	سنندج	اهواز	شهرکرد	رشت	سنندج	اهواز	شهرکرد	رشت	سنندج	اهواز	شهرکرد	رشت
تابش خورشیدی	۰/۹۹۷۰	۰/۹۹۷۰	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۲۸	۰/۸۱	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۸۶	۰/۹۸۸۳	۰/۹۸۸۲	۰/۹۹۰۲	۰/۹۷۱۹
دمای حداقل	۰/۹۹۶۸	۰/۹۹۸۲	۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۸۷	۰/۸۶	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۴۸	۰/۹۸۷۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۳	۰/۹۹۴۷
دمای حداکثر	۰/۹۹۸۸	۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۸۵	۰/۹۹۶۴	۰/۷۵	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۹۹۵۴	۰/۹۹۴۵	۰/۹۹۴۲	۰/۹۸۵۹
دمای نقطه شبنم	۰/۹۷۹۸	۰/۹۶۹۹	۰/۹۹۰۹	۰/۹۹۸۶	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۴۸	۰/۹۲۲۳	۰/۸۸۷۱	۰/۹۶۴۲	۰/۹۹۴۲
سرعت باد	۰/۹۰۱۲	۰/۹۴۶۹	۰/۹۱۷۶	۰/۷۸۸۷	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۶۸۶۲	۰/۸۰۹۴	۰/۷۴۰۹	۰/۴۱۵۸
بارش	۰/۷۶۹۴	۰/۶۹۲۷	۰/۷۵۸۱	۰/۶۸۳۰	۱/۱۵	۰/۹۲	۰/۹۷	۲/۷۲	۰/۳۷۱۶	۰/۲۴۵۷	۰/۳۵۵۳	۰/۲۴۳۵
تبخیر و تعرق پتانسیل	۰/۹۹۷۸	۰/۹۹۶۲	۰/۹۹۷۷	۰/۹۸۰۷	۰/۲۱	۰/۴۰	۰/۱۸	۰/۳۸	۰/۹۹۳۶	۰/۹۹۰۳	۰/۹۹۳۵	۰/۹۸۴۶

جدول۳- رتبه بندی مقدار شاخص ها

	شاخص توافق ویلموت				ریشه‌ی میانگین مربعات خطا				ضریب تعیین			
متغیر	سنندج	اهواز	شهرکرد	رشت	سنندج	اهواز	شهرکرد	رشت	سنندج	اهواز	شهرکرد	رشت
تابش خورشیدی	۲	۲	۳	۴	۳	۲	۱	۴	۲	۳	۱	۴
دمای حداقل	۴	۲	۳	۱	۴	۲	۳	۱	۳	۲	۲	۱
دمای حداکثر	۱	۲	۳	۴	۱	۳	۲	۴	۱	۲	۳	۴
دمای نقطه شبنم	۳	۴	۲	۱	۳	۲	۲	۱	۳	۴	۲	۱
سرعت باد	۳	۱	۲	۴	۲	۳	۲	۱	۳	۱	۲	۴
بارش	۱	۳	۲	۴	۳	۱	۲	۴	۱	۳	۲	۴
تبخیر و تعرق پتانسیل	۱	۳	۲	۴	۲	۴	۱	۳	۱	۳	۲	۴



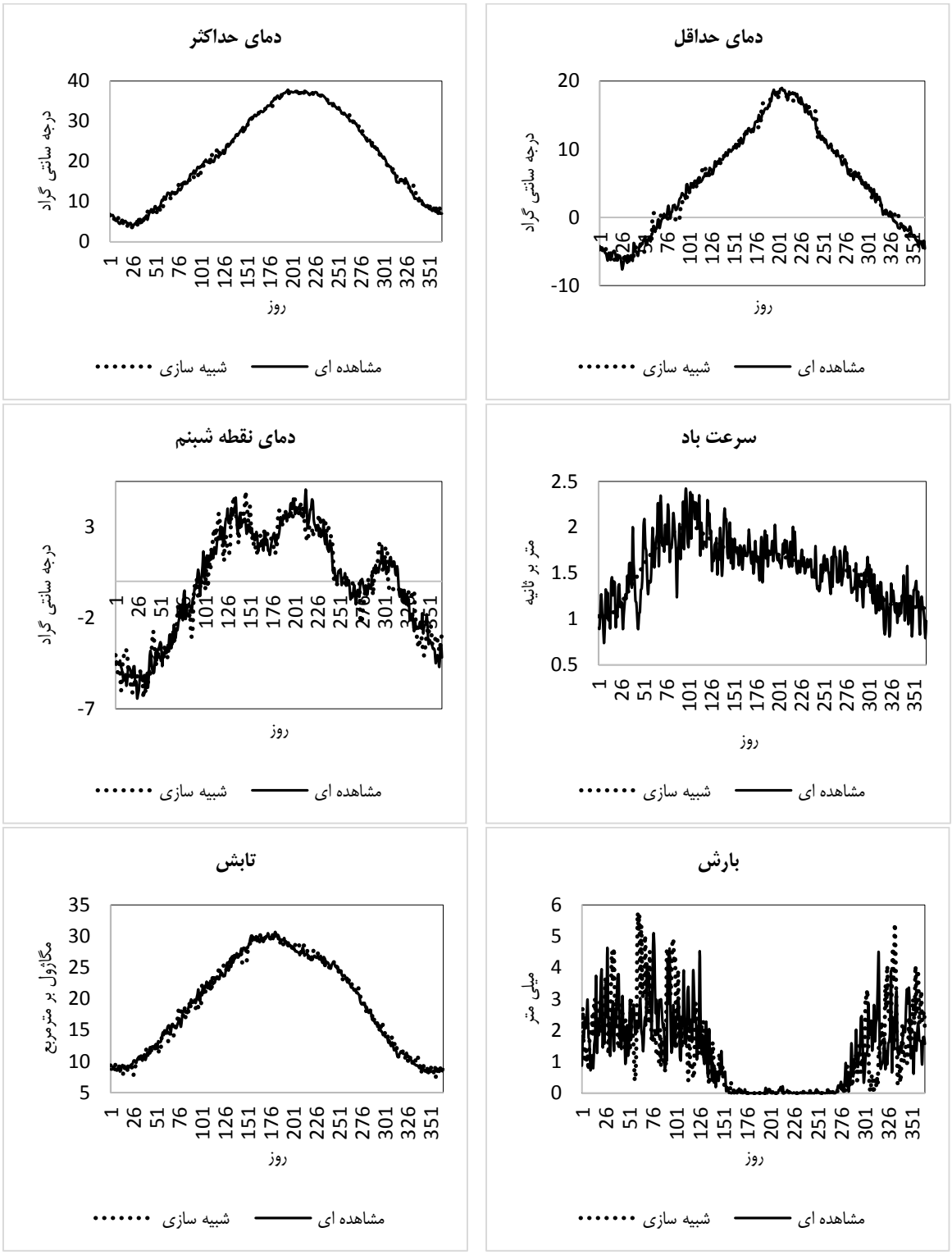
شکل۱- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه اهواز



شکل۲- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه شهرکرد

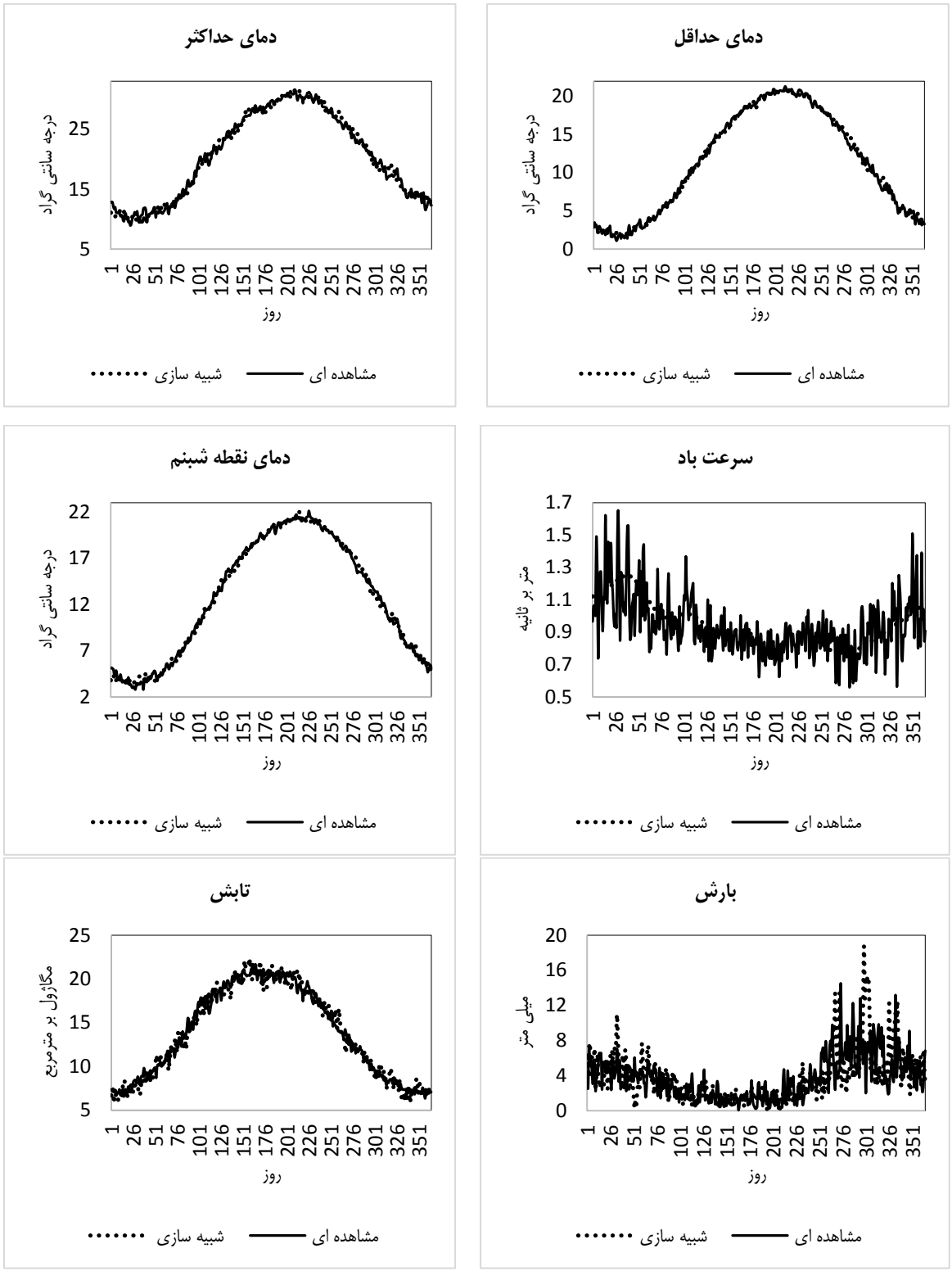
جدول٤- مجموع رتبه‌های شاخص‌ها برای هر متغیر هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل

متغیر	سنندج	اهواز	شهرکرد	رشت
تابش خورشیدی	۷	۷	۳	۱۲
دمای حداقل	۱۱	۶	۸	۳
دمای حداکثر	۳	۷	۸	۱۲
دمای نقطه شبنم	۹	۱۰	۶	۳
سرعت باد	۸	۵	۶	۹
بارش	۵	۷	۶	۱۲
تبخیر و تعرق پتانسیل	۴	۱۰	۵	۱۱
مجموع رتبه های متغیرهای هواشناسی	۴۳	۴۲	۳۷	۵۱
مجموع رتبه های متغیرهای هواشناسی و تبخیر تعرق پتانسیل	۴۷	۵۲	۴۲	۶۲



شکل۳- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه سنندج

باتوجه به شکل (۳) و نتایج جدول (۴)،بهترین شبیه‌سازی در ایستگاه سنندج با اقلیم مدیترانه‌ای مربوط به دمای حداکثر و ضعیف‌ترین شبیه‌سازی مانند ایستگاه شهرکرد،مربوط به دمای حداقل است. بیشترین اختلاف بین دمای حداقل مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل در روز ۹۰ میلادی (دوازدهم فروردین ماه) اتفاق افتاده است که معادل با ۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

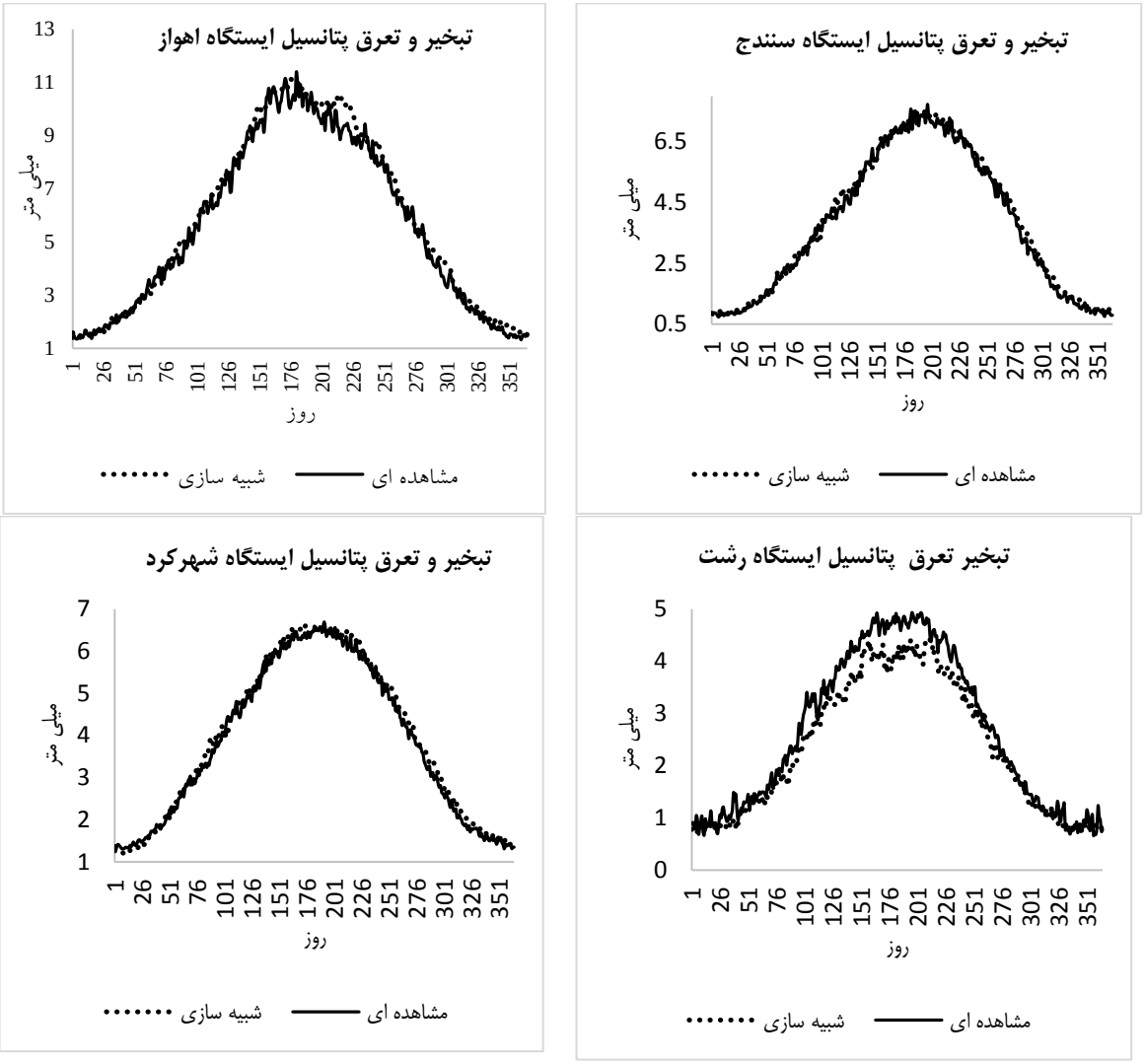


شکل٤- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه رشت

باتوجه به شکل (۴) و نتایج جدول (۴)،بهترین شبیه‌سازی‌ها در ایستگاه رشت با اقلیم بسیار مرطوب مربوط به دمای حداقل و دمای نقطه شبنم و ضعیف‌ترین شبیه‌سازی‌ها مربوط به دمای حداکثر،تابش خورشیدی و بارش است. بیشترین اختلاف بین تابش خورشیدی،دمای حداکثر و بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط مدل به ترتیب در روزهای ۵۲ میلادی (دوم اسفند ماه)، ۴۰ میلادی (چهاردهم بهمن ماه) و ۳۰۱ میلادی (هفتم آبان

ماه) اتفاق افتاده است که معادل با ۲/۶ مگاژول بر متر مربع، ۲/۴ درجه سانتی‌گراد و ۱۳ میلی‌متر می‌باشد.

هم‌چنین نتایج تحلیل حساسیت مدل نشان داد،پارامترهای ورودی مدل به ترتیب تاثیر آن‌ها بر تبخیر و تعرق پتانسیل عبارتند از دمای حداکثر،تابش خورشیدی،سرعت باد،دمای نقطه شبنم و دمای حداقل.



شکل۵- مقایسه میانگین روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه سازی شده و مشاهده شده در چهار ایستگاه

ارزیابی تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه سازی شده با مدل SIMETAW

ضرایب آماری برای مقایسه بین تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی شده با مدل SIMETAW و تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با معادله فائو پنمن- مانتیث در جدول (۲) آورده شده است. بر اساس جدول (۴) بهترین شبیه‌سازی برای تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به اقلیم مدیترانه‌ای (سنندج) می‌باشد و اقلیم‌های نیمه خشک (شهرکرد)،خشک (اهواز) و بسیار مرطوب (رشت) به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. به طور کلی در صورت با هم در نظر گرفتن مجموع رتبه‌های متغیرهای هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی شده،بیشترین دقت مدل در شبیه‌سازی‌ها مربوط به اقلیم نیمه خشک (شهرکرد) می‌باشد و اقلیم‌های مدیترانه‌ای (سنندج)،خشک (اهواز) و بسیار مرطوب (رشت) به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

همان‌گونه که در شکل (۵) نشان داده شده،تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل،توافق خوبی با مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده،دارد. بیشترین اختلاف بین تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با داده‌های هواشناسی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با مدل برای ایستگاه رشت در روز ۱۷۴،برای ایستگاه شهرکرد در روزهای ۸۷ ،۸۹ و ۲۱۳، برای ایستگاه اهواز در روز ۲۱۵ و برای ایستگاه سنندج در روز ۱۲۰ سال میلادی رخ داده است که به ترتیب معادل با ۱/۶، ۰/۱،۴۷ و ۰/۸

میلی‌متر است. با وجود اینکه بر اساس شاخص‌های محاسبه شده کمترین دقت مدل در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به ایستگاه رشت می‌باشد،اما بیشترین اختلاف به دست آمده مربوط به ایستگاه اهواز (۱/۶ میلی‌متر) است که در ۱۲ مرداد اتفاق افتاده است و بعد از آن ایستگاه رشت (۱ میلی متر) که در دوم تیر ماه رخ داده است. در تحقیقات مشابهی که توسط ابراهیم پور و همکاران (۱۳۹۰) در ایستگاه مشهد و توسط سوویلم (۲۰۱۲) در دلتای رود نیل انجام شد،از مقایسه بین تبخیر و تعرق پتانسیل بدست آمده با داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدلSIMETAW، به ترتیب ضرایب تعیین ۰/۹۹۱ و ۰/۹۶۹ به دست آمد که هم‌خوانی خوبی با نتیجه به دست آمده برای ایستگاه‌های رشت،شهرکرد،اهواز و سنندج دارند (۰/۹۸۴۶ ،۰/۹۹۳۵ ،۰/۹۹۰۳ و ۰/۹۹۳۶)،در این تحقیقات نیز به ترتیب بیشترین اختلاف بین تبخیر و تعرق پتانسیل تخمین زده شده با داده‌های هواشناسی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل، در آخر مرداد ماه و نیمه مرداد ماه اتفاق افتاده است. نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقات جین لی و همکاران (۲۰۰۹) و لی (۲۰۱۰) هم‌خوانی دارد.

مشاهده می‌شود که بیشترین اختلاف بین تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی شده با مدل SIMETAW و تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با استفاده از معادله فائو پنمن- مانتیث مربوط به ایستگاه اهواز (اقلیم خشک) می‌باشد که نتایج به دست آمده با سایر تحقیقات هم‌خوانی دارد. بر اساس نتایج سایر تحقیقات،در بیشتر مناطق کشور،بیشترین تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه ژوئیه (۱۰ تیر ماه تا ۹ مرداد ماه) اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج تحلیل حساسیت نشان داده است که در ماه‌های گرم سال،سرعت باد و درجه حرارت حداکثر هوا به ترتیب مهم‌ترین عوامل موثر بر تبخیر و تعرق پتانسیل هستند (دین پژوه،۱۳۹۰).

نتیجه گیری

نتایج به‌دست آمده بیانگر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل ،دمای حداکثر ،دمای نقطه شبنم ،سرعت باد،تابش و تبخیر و تعرق پتانسیل در هر چهار اقلیم مورد مطالعه بود اما در مورد تخمین متغیر بارش مدل از دقت کمتری برخوردار بود. نتیجه بهترین شبیه‌سازی ها برای دمای حداکثر و بارش مربوط به ایستگاه سنندج،برای دمای حداقل و دمای نقطه شبنم مربوط به ایستگاه رشت،برای سرعت باد مربوط به ایستگاه اهواز و برای تابش خورشیدی مربوط به ایستگاه شهرکرد می‌باشد. بهترین شبیه‌سازی برای تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به اقلیم مدیترانه‌ای (سنندج) می‌باشد و اقلیم‌های نیمه خشک (شهرکرد)،خشک(اهواز) و بسیار مرطوب (رشت) به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. به طور کلی در صورت با هم در نظر گرفتن مجموع رتبه‌های

متغیرهای هواشناسی و تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی شده،بیشترین دقت مدل در شبیه‌سازی‌ها مربوط به اقلیم نیمه خشک (شهرکرد) می‌باشد و اقلیم‌های مدیترانه‌ای (سنندج)،خشک (اهواز) و بسیار مرطوب (رشت) به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. بر اساس تحلیل حساسیت مدل SIMETAW، پارامترهای ورودی مدل به ترتیب تاثیر آن‌ها بر تبخیر و تعرق پتانسیل عبارتند از دمای حداکثر،تابش خورشیدی،سرعت باد،دمای نقطه شبنم و دمای حداقل.

با توجه به همبستگی بالا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و ثبت شده،استفاده از مدل SIMETAW برای شبیه‌سازی داده‌های آب و هوا،برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل،نیاز خالص آبیاری و نیز پر کردن خلاءهای آماری در چهار اقلیم مورد بررسی پیشنهاد می‌گردد. به علاوه،SIMETAW می‌تواند به عنوان یک ابزار خوب برای مهندسان آبیاری و تصمیم گیرندگان برای پیش‌بینی نیازهای آبیاری با استفاده از سوابق ماهانه در صورتیکه داده‌های روزانه در دسترس نباشند،استفاده شود.

منابع

۱- ابراهیم پور، م.، قهرمان، ن. و ع.م، لیاقت. ۱۳۹۰ . استفاده از مدل SIMETAW جهت شبیه سازی پارامترهای اقلیمی و تبخیر و تعرق(مطالعه موردی: ایستگاه مشهد) . اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، تهران، دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری.

۲- ابراهیم پور، م.، قهرمان، ن. و ع.م، لیاقت. ۱۳۹۱. استفاده از مدل SIMETAW جهت شبیه سازی متغیرهای اقلیمی و بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل (مطالعه موردی: مشهد). مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۳(۴):۳۶۰-۳۵۳.

۳- براتی، خ.، طاهری سودجانی، ه. و م، شایان نژاد. ۱۳۹۴. معادلات اساسی بکار گرفته شده در مدل swap و راهنمای کاربردی مدل. نشریه آب و توسعه پایدار، ۲(۱): ۸۰-۶۷.

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

۵- حیدری نیا، م. ۱۳۸۹. بررسی امکان کاربرد مدل AquaCrop در برنامه ریزی آبیاری ذرت در شمال خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۶- دین پژوه، ی. ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل روند تغییرات زمانی تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (مطالعه موردی: ایستگاه همدان). فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۱(۳۴): ۲۸۶-۲۶۰.

۷- سلطانی محمدی، ا. ۱۳۹۰. مدیریت آبیاری ذرت در مراحل مختلف رشد تحت تنش کم آبیاری و شوری در شرایط اقلیمی اهواز. پایان نامه دکتری. رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چهران اهواز.

۸- هژبر، ح.، معاضد، ه. و س، شکری کوچک. ۱۳۹۳. برآورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از مدل های تجربی، مدل سازی آن با شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن ها با داده های لایسیمتری در ایستگاه کهریز ارومیه . فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۴(۴): ۲۵-۱۳.

9- Anonymous. 2005. User's guide SIMETAW, Version 1.0. California Land and Water Use. Department of Water Resources and Department of Air, Land and Water Resources, University of California, Davis, 124p.

10- 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.

11- 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.

12- 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.

13- Jin-Li, S.J., Li-Gang, W., Jian-Jun, Q., Tian-Zhi, R., Xu, G., Xiao-Guang, Y. and S. Zhan-Xiang. 2009. Test and preliminary application of the SIMETAW model in Northwest of Liaoning. China Agriculture Science, 42(10):3726-3733.

14- Liu, H.F., Genard, M., Guichard, S. and N. Bertin. 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes. Journal of Experimental Botany, 58(13):3567-3580.

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

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

17- 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.

18- Snyder, R., Geng, S., Orang, M. and S. Sarreshteh. 2012. Calculation and simulation of evapotranspiation of applied water . Journal of Integrative Agriculture, 11(3): 489-501.

19- 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.

20- Swelam, A. 2012 . Modeling evapotranspiration in Nile delta: Calibrate and validate (SIMETAW Model) under Egypt's conditions. Journal of Agricultural Engineering Research, 2 (1): 13-28.

21- 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.