



توسعه یک چارچوب ریزمقیاس سازی به منظور برآورد تبخیر- تعرق مرجع زیرروزانه: ۱- مقایسه عملکرد برخی مدل های ریزمقیاس سازی داده های هواشناسی روزانه

فرزین پرچمی عراقی^۱ - سید مجید میرلطیفی^{۲*} - شجاع قربانی دشتکی^۳ - مجید وظیفه دوست^۴ - عدنان صادقی لاری^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۰۹

چکیده

به منظور تبیین هرچه واقع بینانه تر فرآیندهای حاکم بر بیلان آب و انرژی و نیز فرآیندهای کیفیت آب و بیولوژیکی گیاه، نیاز به اطلاعات هواشناسی در مقیاس های زمانی کوچکتر از آنچه که در اغلب مناطق در دسترس است، می باشد. در پژوهش حاضر، چارچوبی فیزیکی بنیان به منظور ریزمقیاس سازی داده های هواشناسی روزانه مورد نیاز در برآورد تبخیر- تعرق مرجع زیرروزانه توسعه یافت. در این چارچوب، داده های هواشناسی روزانه گم شده با به کارگیری یک الگوریتم مبتنی بر جستجو- بهینه سازی برآورد می شوند. همین طور، با استفاده از گونه یکپارچه سازی شده الگوریتم بهینه سازی رفتار جمعی اجزا (UPSO)، مدل های مختلف ریزمقیاس سازی داده های هواشناسی واستجی می گردد. تشعشع خورشیدی روزانه و زیرروزانه از طریق روش عمومی و فیزیکی بنیان یانگ و همکاران برآورد می شود. به منظور ارزیابی عملکرد چارچوب فوق، از داده های بلندمدت سه ساعته و روزانه ایستگاه سینوپتیک آبادان (۵۹ سال) و اهواز (۵۰ سال) استفاده شد. نتایج نشان داد در مقایسه با مدل های WAVE I، WAVE II، WAVE II، ERBS، WCALC، ESRA، مدل TM با ضریب کارایی مدل (EF) 9775/0 تا ۰/۹۹۲۴ دارای بهترین عملکرد در ریزمقیاس سازی دمای هوای روزانه بود. همچنین، آن دسته از مدل های ریزمقیاس سازی دمای هوای روزانه که در آن ها زمان وقوع دمای حداقل و حداکثر به عنوان توابعی از زمان طلوع و غروب خورشید بیان می شود در مقایسه با مدلهایی که یک زمان قراردادی ثابت را برای رخ داده های یاد شده در نظر می گیرند از عملکرد بهتری در تبیین تغییرات زمانی دمای هوای زیرروزانه برخوردار بودند. مدل HUM III (که بر اساس ریزمقیاس سازی کسینوسی فشار بخار واقعی می باشد) با آماره EF در دامنه ۰/۷۲۶۶ تا ۰/۸۸۹۶ دارای بهترین عملکرد در ریزمقیاس سازی دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و رطوبت نسبی بود. مقادیر زیرروزانه سرعت باد با آماره EF در دامنه ۰/۳۳۵۷ تا ۰/۶۳۰۰ برآورد گردید. نتایج حاکی از انطباق بالای مقادیر مجموع ۲۴ ساعته تشعشع خورشیدی زیرروزانه با مقادیر نظیر روزانه (EF بین ۰/۹۷۲۹ تا ۰/۹۸۰۱) بود. همچنین، برای مناطقی که مقادیر زیرروزانه اندازه گیری شده اطلاعات هواشناسی موجود نیست، استفاده از مدل های WAVE II و HUM II (که بر اساس ریزمقیاس سازی خطی رطوبت نسبی می باشد) قابل توصیه است. نتایج حاکی از لزوم واستجی مدل گرین و کوک برای ریزمقیاس سازی سرعت باد در مناطق مختلف بود.

واژه های کلیدی: بهینه سازی رفتار جمعی اجزای یکپارچه، تبخیر- تعرق، تشعشع خورشیدی زیرروزانه، روش فیزیکی بنیان

مقدمه

خصوصاً، در اراضی فاریاب مناطق خشک و نیمه خشک و مجهز به سیستم های زهکشی، به دلیل تعدد رویدادهای آبیاری و تغییرات زمانی سریع اجزای بیلان آب در طول شبانه روز از اهمیت بیشتری برخوردار است. تاکنون مطالعات متعددی با هدف تولید و یا ریزمقیاس سازی داده های هواشناسی روزانه به داده هایی با مقیاس زیرروزانه برای استفاده در مدل های هیدرولوژیکی صورت گرفته است (۱۰، ۳۱ و ۳۵). توزیع یکنواخت مقادیر متغیرهای هواشناسی روزانه در طول گام- های زمانی شبانه روز رایج ترین روش در این رابطه است. با این حال، نتایج مطالعات صورت گرفته حاکی از آن است که اتخاذ این رویکرد می تواند به نتایجی که با شرایط واقعی فاصله ای بسیار دارند، بیانجامد

به منظور مدل سازی هر چه واقع بینانه تر روابط آب، خاک، گیاه و اتمسفر، دسترسی به اطلاعات هواشناسی و برآوردهای تبخیر- تعرق مرجع در مقیاس های زمانی زیرروزانه امری ضروری می باشد. این امر

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: mirlat_m@modares.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

۴- استادیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان

۵- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

زمانی زیرروزانه و با استفاده از یکی از روش های سه گانه یاد شده صورت گرفته است (۳۰ و ۳۵). در این خصوص، می توان به پژوهش ویچلر و ویگموسا (۳۵) اشاره کرد که با استفاده از مدل دمایی بریستو و کمپیل (۶) که ذاتا تشعشع خورشیدی روزانه را به دست می دهد، سعی در برآورد مقادیر ساعتی تشعشع خورشیدی نمودند که به نتایج امیدبخشی منجر نگردید. دلیل اصلی این امر آن است هر سه گروه از روش های یاد شده برآورد تشعشع خورشیدی دارای ماهیتی تجربی بوده و اساسا، مقادیر روزانه تشعشع خورشیدی را برآورد می کنند و اصولا، مدل های ارائه شده به منظور برآورد تشعشع خورشیدی در بازه های زمانی زیرروزانه انگشت شمار هستند.

یکی از معدود مدل های ارائه شده در این رابطه، مدل یانگ و همکاران (۳۸) (مدل YNG) می باشد که مدلی با اساس فیزیکی بوده و مهمترین مزیت این مدل، واسنجی-آزاد بودن آن است. تفاوت عمده این مدل با مدل AP آن است که در آن از ویرایش اصلی مدل انگسترم (۲) استفاده شده است و اضمحلال تشعشع خورشیدی از طریق توده هوا و ابر به صورت جداگانه مدل سازی می شود. این در حالی است که در مدل AP این دو فرآیند از هم متمایز نمی شوند. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز این مدل، شامل مقادیر ماهانه، روزانه یا زیرروزانه متوسط دمای هوا، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی بوده و بسته به مقیاس زمانی اطلاعات ورودی، تشعشع خورشیدی ماهانه، روزانه یا زیرروزانه قابل محاسبه خواهد بود. مطالعات صورت گرفته در ارزیابی عملکرد این مدل با استفاده از اطلاعات تشعشع خورشیدی اندازه گیری شده در ایستگاه های هواشناسی با ویژگی های اقلیمی، توپوگرافیکی و جغرافیایی بسیار متنوع، حاکی از قابلیت بسیار بالای آن در دستیابی به برآوردهای معتبر تشعشع خورشیدی در مقیاس های زمانی مختلف، خصوصا مقیاس زمانی زیرروزانه بوده است (۳۲، ۳۷ و ۳۸). لذا، هدف از این پژوهش، توسعه چارچوبی فیزیکی-بنیان به منظور ریزمقیاس سازی داده های هواشناسی روزانه مورد نیاز برای برآورد تبخیر-تعرق چمن مرجع زیرروزانه (شامل دمای هوا، سرعت باد، دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی، رطوبت نسبی و تشعشع خورشیدی) از طریق به کارگیری برخی از مدل های ریزمقیاس سازی ارائه شده در منابع بوده است. در مقاله حاضر، نتایج واسنجی، صحت یابی و مقایسه عملکرد مدل های ریزمقیاس سازی به کار گرفته شده در چارچوب توسعه یافته با استفاده از اطلاعات هواشناسی بلندمدت روزانه و سه ساعته ایستگاه های سینوپتیک آبادان و اهواز ارائه گردیده است.

مواد و روش ها

زیرروال های مختلف چارچوب یاد شده از طریق برنامه نویسی آمیخته فرتن و ++C توسعه یافت که در ادامه، شرح زیرروال هایی از

(۱۵ و ۱۶)، تاکنون مدل های متعددی با اساس خطی، سینوسی و کسینوسی به منظور مدل سازی الگوی تغییرات زمانی دمای هوا (۷، ۸، ۹، ۱۲، ۱۳ و ۳۶)، رطوبت نسبی و دمای نقطه شبنم (۲۰) و سرعت باد (۱۵) در طول شبانه روز ارائه گردیده است. به طور کلی، عملکرد مدل های ارائه شده به منظور ریزمقیاس سازی اطلاعات هواشناسی بسته به نحوه توزیع مقادیر روزانه متغیرهای هواشناسی در طول ساعات شبانه روز در مناطق مختلف متفاوت می باشد (۵). لذا، اعتباریابی و مقایسه عملکرد این مدل ها در ریزمقیاس سازی داده های هواشناسی روزانه و شناسایی مدل هایی که عملکرد آن ها از وابستگی مکانی کمتری برخوردار بوده و توصیه آن ها برای مناطق فاقد داده های هواشناسی زیرروزانه مورد نیاز به منظور واسنجی و اعتباریابی این مدل ها ضروریست. از سوی دیگر، اکثر این مدل ها دارای پارامترهایی می باشند که مقادیر آن ها یا به صورت تجربی تعیین گردیده و یا مقادیری قراردادی (مانند زمان وقوع دمای حداقل و حداکثر در طول شبانه روز) برای آن ها در نظر گرفته شده است.

در تمامی مطالعات مشابه صورت گرفته، به منظور واسنجی مدل های ریزمقیاس سازی فوق با فرض قابل قبول بودن مقادیر اتخاذ شده برای پارامترهای قراردادی، تنها به واسنجی پارامترهای تجربی بسنده گردیده است (۷، ۱۰، ۳۱ و ۳۵). این در حالیست که در مدل های ریزمقیاس سازی مختلف برای یک پارامتر قراردادی مشابه، مقادیر متفاوتی پیشنهاد شده است و عدم تناسب مقادیر پارامترهای قراردادی با مقادیر واقعی آن ها در مناطق مختلف می تواند به اریب شدن پارامترهای تجربی برآورد شده و نیز کاهش توان تبیین کنندگی مدل های ریزمقیاس سازی متغیرهای هواشناسی منجر گردد. به نظر می رسد از طریق برآورد مقادیر موثر پارامترهای تجربی و قراردادی به کمک رویکرد مدل سازی معکوس، بتوان عملکرد این مدل ها را در تبیین تغییرات زمانی متغیرهای هواشناسی در طول شبانه روز، بهبود بخشید.

یکی دیگر از متغیرهای هواشناسی کلیدی مورد نیاز مدل های شبیه سازی زراعی-هیدرولوژیکی و مدل هایی که بر اساس شبیه سازی اندرکنش بیلان آب و انرژی هستند (مانند مدل های شبیه ساز ذوب برف)، تشعشع خورشیدی می باشد (۲۷). به طور معمول، تشعشع خورشیدی با استفاده از روش های ساده ای که بر اساس طول ساعات آفتابی در روز (۲ و ۲۸)، میزان ابرناکی (۱۱) و یا دمای هوا (۴) هستند، برآورد می شود. به طور کلی، مدل هایی که بر اساس ساعات آفتابی می باشند، دارای عملکرد بهتری در مقایسه با مدل های واقع در دو دسته دیگر هستند که از بین این مدل ها، استفاده از مدل انگسترم-پریسکات (۲۸) (مدل AP) بسیار رایج است (۲۶). با این حال، با وجود ارائه مدل های متعدد به منظور ریزمقیاس سازی دمای هوا، رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم و سرعت باد، تلاش های انگشت شماری در خصوص برآورد تشعشع خورشیدی در مقیاس های

آن که مرتبط با پردازش داده‌های خام، ریزمقیاس‌سازی متغیرهای هواشناسی روزانه و برآورد پارامترهای مدل‌های ریزمقیاس‌سازی می‌باشد، ذکر گردیده است.

الف) زیرروال بررسی صحت مقادیر متغیرهای هواشناسی و برآورد داده‌های گم‌شده: در این زیرروال، صحت مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرهای هواشناسی با استفاده از معیارهای پیشنهادی توسط الن و همکاران (۱) مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌منظور برآورد داده‌های گم‌شده، از ویرایش بهبود یافته‌ای از رویکرد اتخاذ شده در سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری آمایش سرزمین (۱۸) استفاده شد. در گام نخست این رویکرد، ابتدا روزی که حاوی حداقل یک متغیر هواشناسی خاص با مقداری نامعلوم است، مشخص شده و در گام دوم، روزهای حاوی مقادیر غیرگم‌شده متغیر (های) مذکور در سراسر بانک اطلاعاتی که به فاصله ۱۵ روز تقویمی قبل و بعد از روز مورد نظر قرار دارند، به‌عنوان روزهای کاندیدی که ویژگی‌های هواشناسی آن‌ها دارای بیشترین تشابه با روز مورد نظر بوده و از اطلاعات هواشناسی این روزها می‌توان به‌عنوان برآوردی از مقدار گم‌شده متغیر (های) هواشناسی در روز مورد نظر استفاده کرد، در نظر گرفته می‌شوند. در گام سوم، به‌منظور تعیین مشابه‌ترین روز از بین روزهای کاندید، مقادیر مجموع و حداکثر قدرمطلق تفاضلات بدون بعد شده مقادیر معلوم متغیرهای هواشناسی هر روز کاندید و روز مورد نظر محاسبه می‌شود. قدر مطلق تفاضلات، با استفاده از تفاضل مقادیر حداقل و حداکثر هر متغیر هواشناسی در سراسر بانک اطلاعاتی بدون بعد می‌شوند. در گام چهارم، از بین روزهای کاندید، روزی که دارای کمترین مجموع قدرمطلق تفاضلات بدون بعد شده باشد، به‌عنوان روزی که ویژگی‌های هواشناسی آن دارای بیشترین تشابه با روز مورد نظر است، معرفی می‌شود. در گام پنجم، در صورتی که نتیجه آنالیز صورت گرفته در گام چهارم به بیش از یک روز کاندید ختم شود، از بین روزهای کاندید استخراج شده، روز کاندیدی که دارای کمترین حداکثر قدرمطلق تفاضلات بدون بعد شده باشد، به‌عنوان انتخاب نهایی در نظر گرفته می‌شود. در گام ششم، در صورتی که نتیجه آنالیز صورت گرفته در گام پنجم نیز به بیش از یک روز کاندید ختم شود، از بین روزهای کاندید استخراج شده از گام پنجم، نزدیکترین روز تقویمی کاندید به روز مورد نظر به‌عنوان انتخاب نهایی در نظر گرفته می‌شود. اگر مقادیر تمامی متغیرهای هواشناسی در یک روز خاص نامعلوم باشند، مقادیر آن‌ها با استفاده از متوسط درازمدت آن‌ها در آن روز خاص برآورد می‌گردد.

ب) زیرروال ریزمقیاس‌سازی دمای هوای روزانه: بدین منظور از مدل‌های WAVE I (۸)، WAVE II (۹)، WCALC

(۳۶)، ERBS (۱۲)، ESRA (۱۳) و TM (۷) استفاده شد. شرح ریاضی مدل‌های یاد شده در جدول ۱ ارائه گردیده است. مدل WAVE I، تغییرات زمانی دمای هوا در طول شبانه‌روز را با استفاده از یک تابع کسینوسی و با فرض وقوع دمای حداکثر در ساعت ۱۵:۰۰ تبیین می‌کند. مدل WAVE II، از یک تابع کسینوسی به‌منظور تبیین تغییرات زمانی دمای هوا از زمان طلوع خورشید تا زمان وقوع دمای حداکثر و یک تابع کسینوسی دیگر برای مدل‌سازی تغییرات زمانی دمای هوا از انتهای بازه زمانی قبل تا زمان وقوع دمای حداقل در روز بعد استفاده می‌کند. در این مدل فرض بر آن است که مقادیر دمای حداقل و حداکثر روزانه به‌ترتیب، در زمان طلوع خورشید و ساعت ۱۴:۰۰ رخ می‌دهند. در مدل WCALC، منحنی تغییرات زمانی دما با فرض تغییرات خطی دما در طول شبانه‌روز به سه بخش شامل ساعت صفر بامداد تا دو ساعت بعد از طلوع خورشید، از انتهای بازه زمانی قبل تا غروب آفتاب و از غروب آفتاب تا ساعت ۲۴:۰۰ تقسیم می‌گردد. مدل ERBS یک مدل تجربی است که منظور تبیین متوسط ماهانه و روزانه تغییرات زمانی دمای هوا در طول شبانه‌روز ارائه گردیده است. در مدل ESRA، منحنی تغییرات زمانی دمای هوا بسته به زمان وقوع دماهای حداقل و حداکثر روزانه، با استفاده از سه تابع کسینوسی تبیین می‌گردد. در مدل TM، منحنی تغییرات زمانی دمای هوا در طول شبانه‌روز به سه بخش تقسیم می‌شود که شامل زمان طلوع آفتاب تا زمان وقوع دمای حداکثر روزانه، از انتهای بازه زمانی قبل تا زمان غروب آفتاب و از غروب آفتاب تا زمان طلوع آفتاب در روز بعد می‌باشد. این مدل از دو تابع سینوسی در طول روز و یک تابع کاهشی ریشه دوم برای تبیین تغییرات زمانی دما در طول شب استفاده می‌کند و زمان وقوع دمای حداقل و حداکثر به‌ترتیب، مقارن با زمان طلوع خورشید و چهار ساعت قبل از غروب خورشید فرض می‌شود. مقدار دمای هوا در زمان غروب آفتاب با استفاده از یک رابطه تجربی محاسبه می‌گردد.

ج) زیرروال ریزمقیاس‌سازی سرعت باد: به‌منظور ریزمقیاس‌سازی سرعت باد روزانه از مدل پیشنهادی توسط گرین و کوزک (۱۵) (مدل GK) استفاده گردید:

$$W(t) = aW_{day} \cos\left(\frac{p(t-c_{22})}{12}\right) + c_{23}W_{day} \quad (1)$$

$$a = \begin{cases} c_{24} \left(1 - \frac{|t - c_{22}|}{c_{25}}\right) & c_{26} < t < c_{25} + c_{26} \\ c_{27} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

که در آن‌ها: W_{day} متوسط روزانه سرعت باد (متر بر ثانیه) و c_{22} تا c_{27} پارامترهای مدل هستند.

جدول ۱- شرح ریاضی مدل‌های مورد بررسی به‌منظور ریزمقیاس‌سازی دمای هوای روزانه به مقیاس زمانی زیرروزانه

Table 1- Mathematical expression of the studied daily-to-subdaily air temperature disaggregation models

نام مدل Model name	شرح ریاضی مدل Model's mathematical expression
WAVE I	$T(t) = AMP \cos\left(\frac{p(t-c_1)}{12}\right) + T_{ave}^j$
WAVE II	$T(t) = \begin{cases} T_{ave}^j + AMP \left(\cos(p t' / (c_2 + (t_{rise}^j + c_3))) \right) & 1 \leq t < t_{rise}^j + c_3 \\ T_{ave}^j - AMP \left(\cos(p (t - t_{rise}^j) / (c_4 - (t_{rise}^j + c_3))) \right) & t_{rise}^j + c_3 \leq t \leq c_4 \\ \left(\frac{T_{min}^{j+1} + T_{max}^j}{2} \right) + \left(\frac{T_{max}^j - T_{min}^{j+1}}{2} \right) \left(\cos(p t' / (c_2 + (t_{rise}^j + c_3))) \right) & c_4 \leq t \leq 24 \end{cases} ; t' = \begin{cases} t + c_2 & t < t_{rise}^j + c_3 \\ t - c_4 & t > c_4 \end{cases}$
WCALC	$T(t) = \begin{cases} TLIN - SLOPE(t + 24 - t_{set}^j) & 0 < t < t_{rise}^j + c_5 \\ T_{min}^j + (T_{max}^j - T_{min}^j) \sin(TAU) & t_{rise}^j + c_5 < t \leq t_{set}^j \\ TLIN - SLOPE(t - t_{set}^j) & t_{set}^j \leq t \leq 24 \end{cases} ; TAU = \begin{cases} p(t_{set}^{j-1} - t_{rise}^{j-1} - c_5) / (t_{set}^{j-1} - t_{rise}^{j-1}) & 0 < t < t_{rise}^j + c_5 \\ p(t - t_{rise}^j - c_5) / (t_{set}^j - t_{rise}^j) & t_{rise}^j + c_5 < t \leq t_{set}^j \\ p(t_{set}^j - t_{rise}^j - c_5) / (t_{set}^j - t_{rise}^j) & t_{set}^j \leq t \leq 24 \end{cases}$ $TLIN = \begin{cases} T_{min}^{j-1} + (T_{max}^j - T_{min}^{j-1}) \sin(TAU) & 0 < t < t_{rise}^j + c_5 \\ T_{min}^j + (T_{max}^j - T_{min}^j) \sin(TAU) & t_{set}^j \leq t \leq 24 \end{cases} ; SLOPE = \begin{cases} (TLIN - T_{min}^j) / (24 - t_{set}^j + t_{rise}^j + c_5) & 0 < t < t_{rise}^j + c_5 \\ (TLIN - T_{min}^j) / (24 - t_{set}^j + t_{rise}^{j+1} + c_5) & t_{set}^j \leq t \leq 24 \end{cases}$
ERBS	$T(t) = T_{ave}^j + AMP \left[\frac{c_6 \cos(a - c_7) + c_8 \cos(2a - c_9) + c_{10} \cos(3a - c_{11}) + c_{12} \cos(4a - c_{13})}{4} \right]; a = 2p(t - 1)/24$
ESRA	$T(t) = \begin{cases} T_{ave}^j - AMP \cos\left(\frac{p(t_{Tmin}^j - t)}{24 + t_{Tmin}^j - t_{Tmax}^j}\right) & 0 < t \leq t_{Tmin} \\ T_{ave}^j + AMP \cos\left(\frac{p(t_{Tmax}^j - t)}{t_{Tmax}^j - t_{Tmin}^j}\right) & t_{Tmin} < t \leq t_{Tmax} \\ T_{ave}^j - AMP \cos\left(\frac{p(24 + t_{Tmin}^j - t)}{24 + t_{Tmin}^j - t_{Tmax}^j}\right) & t_{Tmax} < t \leq 24 \end{cases} ; \begin{cases} t_{Tmin} = t_{rise}^j - c_{14} \\ t_{Tmax} = t_{set}^j - c_{15} \end{cases}$
TM	$T(t) = \begin{cases} T_{min}^j + a \sin\left[\frac{p}{2} \left(\frac{t - (t_{rise}^j + c_{16})}{t_{Tmax}^j - t_{rise}^j} \right)\right] & t_{rise}^j + c_{16} < t \leq t_{Tmax}^j \\ T_{set}^j + R \sin\left[\frac{p}{2} \left(1 + \frac{t - t_{Tmax}^j}{c_{17}} \right)\right] & t_{Tmax}^j < t \leq t_{set}^j \\ T_{set}^j + b \sqrt{t - t_{set}^j} & t_{set}^j < t \leq t_{rise}^{j+1} \end{cases} ; \begin{cases} t_{rise}^{j+1} = t_{rise}^j + 24 + c_{16} \\ t_{Tmax}^j = t_{set}^j - c_{17} \\ T_{set}^j = T_{max}^j - c_{18} (T_{max}^j + T_{rise}^{j+1}) \\ a = T_{max}^j - T_{min}^j \\ R = T_{max}^j - T_{set}^j \\ b = (T_{rise}^{j+1} - T_{set}^j) / \sqrt{(t_{rise}^{j+1} - t_{set}^j)} \end{cases}$

در روابط فوق، $T(t)$ دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) در زمان t (ساعت)، T_{max} ، T_{min} و T_{set} به‌ترتیب، مقادیر روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر و دمای هوا در زمان غروب خورشید (درجه سانتی‌گراد)، t_{rise} و t_{set} به‌ترتیب، زمان طلوع و غروب خورشید (ساعت)، $AMP = (T_{max} - T_{min})/2$ ، $T_{ave} = (T_{min} + T_{max})/2$ ، ضرایب ثابت c_1 تا c_{18} پارامترهای تجربی و قراردادی مدل‌ها و j اندیس بیانگر شماره روز می‌باشد.

Where $T(t)$ is air temperature ($^{\circ}\text{C}$) at time; t (h), T_{min} , T_{max} , T_{set} are minimum, maximum and sunset air temperature, respectively; t_{rise} and t_{set} are the time (h) of sunrise and sunset, respectively; $AMP = (T_{max} - T_{min})/2$; $T_{ave} = (T_{min} + T_{max})/2$; constant coefficients of c_1 and c_2 are experimental and arbitrary model parameters; and j indicates the day number

$$T_{dew}^j(t) = T_{dew}^j + \frac{t}{24} (T_{dew}^j - T_{dew}^{j+1}) + \Delta T_{dew} \quad (۳)$$

$$\Delta T_{dew} = \sin\left((t+1)\frac{p}{k_r} - \frac{3p}{4}\right) / 2 \quad (۴)$$

که در آن‌ها: T_{dew} دمای نقطه شبنم روزانه (درجه سانتی‌گراد)، ΔT_{dew} کسر تغییرات زمانی T_{dew} در طول ساعات شبانه‌روز (بدون بعد) و k_r ضریب ثابتی است که تابع متوسط ماهانه تشعشع خورشیدی می‌باشد. به‌ازای متوسط ماهانه تشعشع خورشیدی بیشتر از $۸/۶۴$ مگاژول

د) زیرروال ریزمقیاس‌سازی رطوبت نسبی، دمای نقطه

شبنم و فشار بخار واقعی: بدین منظور، سه رویکرد متفاوت مورد استفاده قرار گرفت. در رویکرد نخست (مدل HUM I)، ابتدا مقادیر دمای نقطه شبنم زیرروزانه با استفاده از روش پیشنهادی متوتست (۲۰) و با فرض تغییرات خطی دمای نقطه شبنم بین دو روز متوالی و نیز فرض وقوع مقدار متوسط دمای نقطه شبنم در ساعت ۰۶:۰۰ اشتقاق یافت:

زنگوله‌ای شکل (رابطه (۱۲)) با شرح ریاضی زیر در طول ساعات روز توزیع می‌گردد:

$$f_d(t) = kH \cos(kt) / \sin(kH) \quad (11)$$

$$f_b(t) = 2kHF(1 + \cos(2kt)) / (2kH + \sin(2kH)) \quad (12)$$

که در آن‌ها: $f_d(t)$ و $f_b(t)$ به ترتیب، کسر ساعات آفتابی روزانه در زمان t (ساعت) برآورد شده از طریق توابع گنبدی و زنگوله‌ای شکل، H نیمه طول روز (رادیان) و $k = 2\pi n(1 - n_s)/H$ که در آن، n_s ساعات آفتابی روزانه (ساعت) است. در مقایسه با تابع گنبدی شکل، در تابع زنگوله‌ای توزیع ساعات آفتابی در حوالی ظهر خورشیدی از تمرکز بیشتری برخوردار است. به منظور حصول یکپارچگی در نتایج محاسبات تشعشع خورشیدی در مقیاس‌های زمانی مختلف، محاسبات مدل YNG بر اساس اتخاذ گام‌های زمانی ثابت یک ثانیه‌ای صورت گرفت.

و) زیرروال برآورد پارامترهای مدل‌های

ریزمقیاس‌سازی: به منظور برآورد مقادیر تجربی و قراردادی پارامترهای مدل‌های مورد بررسی، از گونه یکپارچه الگوریتم بهینه‌سازی رفتار جمعی اجزا (۲۴) که از ترکیب گونه‌های lbest (که در آن ویژگی اکتشاف الگوریتم غالب است) و gbest (که در آن ویژگی انتفاع الگوریتم غالب است) توسعه یافته و توازن بین دو ویژگی اکتشاف و انتفاع در حین اجرای الگوریتم متغیر است، استفاده گردید. از آماره ضریب کارایی مدل (۲۲) به عنوان تابع هدف استفاده شد.

ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌سازی

داده‌های هواشناسی روزانه: بدین منظور، از اطلاعات هواشناسی بلندمدت سه ساعته و روزانه (تأمین شده از بانک اطلاعاتی سازمان هواشناسی کشور) ایستگاه‌های سینوپتیک آبادان (۵۹ سال) با مختصات جغرافیایی $30^{\circ}22'$ شمالی و $48^{\circ}15'$ شرقی و ارتفاع $6/6$ متر از سطح دریا و اهواز (۵۰ سال) با مختصات جغرافیایی $31^{\circ}20'$ شمالی و $48^{\circ}40'$ شرقی و ارتفاع $22/5$ متر از سطح دریا به ترتیب، به منظور واسنجی و صحت‌یابی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی متغیرهای هواشناسی استفاده گردید. مقادیر آماره‌های توصیفی متغیرهای هواشناسی در مناطق یاد شده در جدول ۲ ارائه گردیده است.

مناطق فوق با متوسط درازمدت شاخص خشکی (۳۴) به ترتیب، برابر با ۰/۰۷۵ و ۰/۱۲۰ در گروه مناطق با اقلیم خشک قرار می‌گیرند. به منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف ریزمقیاس‌سازی داده‌های هواشناسی روزانه، از آماره‌های میانگین خطا (ME)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ضریب همبستگی پیرسون (r) و ضریب کارایی مدل (EF) استفاده شد (۲۳). به منظور سهولت مقایسه مدل‌های مورد بررسی، با توجه به آماره‌های MAE، RMSE و ضریب همبستگی پیرسون، رتبه‌ای به

بر متر مربع بر روز، $k_r=6$ و در غیر این صورت، $k_r=12$ در نظر گرفته می‌شود. در ادامه، مقادیر رطوبت نسبی و فشار بخار واقعی با استفاده از مقادیر ریزمقیاس‌سازی شده دمای هوای و دمای نقطه شبنم بر اساس روابط زیر محاسبه گردید (۱):

$$RH(t) = 100 \frac{e^*(T_{dew}(t))}{e^*(T(t))} \quad (5)$$

$$e^*(T) = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right) \quad (6)$$

که در آن‌ها: RH رطوبت نسبی (درصد)، e^0 فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال) در درجه حرارت T (سانتی‌گراد) می‌باشد. در رویکرد دوم (مدل HUM II)، ابتدا رطوبت نسبی زیرروزانه، با فرض تغییرات خطی آن در طول شبانه‌روز از طریق روابط (۷) تا (۹) محاسبه شده و در ادامه، مقادیر زیرروزانه دمای نقطه شبنم و فشار بخار واقعی هوا با استفاده از مقادیر ریزمقیاس شده دمای هوا و رطوبت نسبی از طریق روابط (۵) و (۶) محاسبه گردید.

$$RH(t) = RH_{max} + \frac{(T(t) - T_{min})}{(T_{max} - T_{min})} (RH_{min} - RH_{max}) \quad (7)$$

$$RH_{min} = 100 \frac{e^*(T_{dew})}{e^*(T_{max})} \quad (8)$$

$$RH_{max} = 100 \frac{e^*(T_{dew})}{e^*(T_{min})} \quad (9)$$

که در آن‌ها: RH_{min} و RH_{max} به ترتیب، رطوبت نسبی روزانه حداقل و حداکثر (درصد) می‌باشد.

در رویکرد سوم (مدل HUM III)، ابتدا فشار بخار واقعی روزانه، با استفاده از رابطه عمومی پیشنهادی توسط گرین و کوزک (۱۵) به منظور ریزمقیاس‌سازی متغیرهای هواشناسی با الگوی تغییرات تناوبی در طول شبانه‌روز، ریزمقیاس گردید (رابطه (۱۰)) و سپس با استفاده از مقادیر ریزمقیاس شده دمای هوا و فشار بخار واقعی، مقادیر زیرروزانه رطوبت نسبی و دمای نقطه شبنم با استفاده از روابط (۵) و (۶) محاسبه شد.

$$e_a(t) = c_{19} \frac{(e^*(T_{max}) - e^*(T_{min}))}{2} \cos\left(p \frac{t - c_{20}}{12}\right) + c_{21} e^*(T_{dew}) \quad (10)$$

که در آن: $e_a(t)$ فشار بخار واقعی در زمان t (کیلوپاسکال) و c_{19} ، c_{20} و c_{21} پارامترهای تجربی هستند.

ه) زیرروال محاسبه تشعشع خورشیدی: در این زیرروال،

محاسبه تشعشع خورشیدی روزانه/زیرروزانه با استفاده از مقادیر روزانه/زیرروزانه متوسط دمای هوا، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی و مدل YNG صورت می‌گیرد. به منظور ریزمقیاس‌سازی ساعات آفتابی روزانه از رویکرد ارائه شده توسط روفیم (۳۰) استفاده شد. در این روش، با فرض توزیع متقارن ساعات آفتابی حول ظهر خورشیدی، ساعات آفتابی روزانه با استفاده از دو تابع گنبدی شکل (رابطه (۱۱)) و

مدل‌های مختلف ریزمقیاس‌سازی داده‌های هواشناسی در مناطق مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه گردیده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، مقادیر واسنجی شده پارامترهای قراردادی C_1 و C_3 که مبین زمان وقوع دمای حداکثر روزانه به وقت محلی و پارامترهای C_{15} و C_{17} که بیانگر اختلاف زمان وقوع دمای حداکثر روزانه و زمان غروب آفتاب هستند، اندکی با مقدار پیش‌فرض پارامترهای فوق متفاوت است. در منابع مختلف، زمان وقوع دمای حداکثر بین ساعت ۱۳:۰۰ (به وقت محلی) تا دو ساعت قبل از غروب خورشید ذکر گردیده است (۱۷، ۱۹ و ۲۵). بر این اساس، مقادیر واسنجی شده پارامترهای فوق در دامنه معقول خود قرار دارند. در منابع مختلف، زمان وقوع دمای حداقل بین سه ساعت قبل تا دو ساعت بعد از طلوع خورشید ذکر گردیده است (۳ و ۳۳). بنابراین، مقادیر پارامترهای C_2 ، C_{14} و C_{16} که بیانگر ویژگی فوق هستند، در دامنه معقول خود قرار دارند. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، مدل‌های WAVE II و ESRA زمان وقوع دمای حداقل را قبل از طلوع خورشید و مدل TM این زمان را بعد از طلوع خورشید پیش‌بینی کرده است. در مدل HUM III، زمان وقوع حداقل فشار بخار واقعی ساعت ۱۴:۳۷ (به وقت محلی) و در مدل GK، زمان وقوع حداکثر سرعت باد، حوالی ظهر خورشیدی پیش‌بینی شده است.

ارزیابی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا: مقادیر آماره‌های ارزیابی مورد استفاده به‌منظور بررسی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوای روزانه و رتبه عملکرد هریک در مراحل واسنجی و صحت‌یابی در جدول ۴ ارائه گردیده است.

هریک از مدل‌های مورد بررسی داده شد که میانگین این رتبه‌ها، به‌عنوان رتبه‌ی نهایی هریک از مدل‌ها در نظر گرفته شد. همچنین، سهم هریک از منابع عدم انطباق مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش جزءبندی آماره میانگین مربعات خطا (MSE) به‌شرح زیر تعیین گردید (۱۴):

$$RSB = 100 \frac{\left(\sum_{j=1}^n (P_j - O_j) \right)^2}{MSE} \quad (13)$$

$$RNU = 100 \frac{(1-b^2) \left(\sum_{j=1}^n (O_j - \bar{O})^2 / n \right)}{MSE} \quad (14)$$

$$RLC = 100 \frac{(1-r^2) \left(\sum_{j=1}^n (P_j - \bar{P})^2 / n \right)}{MSE} \quad (15)$$

که در آن‌ها: O مقدار اندازه‌گیری شده، P مقدار برآورد شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، $\bar{P}$ میانگین مقادیر برآورد شده، n تعداد مقایسه‌ها، b شیب خط رگرسیون بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده، RSB درصدی از MSE که ناشی از انتقال خط رگرسیون به بالا یا پایین خط گراف ۱:۱ می‌باشد، RNU درصدی از MSE که ناشی از دوران خط رگرسیون نسبت به خط گراف ۱:۱ می‌باشد، RLC درصدی از MSE که ناشی از کمبود همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده می‌باشد. بدین‌جهت می‌توان نوشت:

$$RSB + RNU + RLC = 100$$

نتایج و بحث

مقادیر پیش‌فرض و واسنجی شده پارامترهای تجربی و قراردادی

جدول ۲- آماره‌های توصیفی متغیرهای هواشناسی در مناطق مطالعاتی
Table 2- Descriptive statistics of the meteorological variables in the study regions

آماره‌های توصیفی Descriptive statistics	سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind speed (m s ⁻¹)		دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد) Minimum air temperature (°C)		دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد) Maximum air temperature (°C)		بارندگی (میلی‌متر بر روز) Precipitation (mm d ⁻¹)		فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال) Actual vapour pressure (kPa)		تشنش خورشیدی (مگاژول بر متر مربع بر روز) Solar radiation (MJ m ⁻² d ⁻¹)	
	آبادان Abadan	اهواز Ahvaz	آبادان Abadan	اهواز Ahvaz	آبادان Abadan	اهواز Ahvaz	آبادان Abadan	اهواز Ahvaz	آبادان Abadan	اهواز Ahvaz	آبادان Abadan	اهواز Ahvaz
حداقل Minimum	0.50	0.50	-4.00	-5.40	6.00	3.40	0.00	0.00	0.29	0.15	3.15	2.98
حداکثر Maximum	15.43	21.61	43.40	38.00	53.00	54.00	86.00	107.00	4.50	3.75	28.83	29.02
میانگین Mean	3.29	2.58	18.48	18.67	32.40	32.46	0.42	0.63	1.29	1.21	18.37	18.15
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	62.54	73.31	43.86	43.79	32.30	33.57	627.00	570.97	36.31	32.92	34.79	37.14

جدول ۳- مقادیر پیش فرض و بهینه پارامترهای تجربی و قراردادی مدل‌های مختلف ریزمقیاس سازی داده‌های هواشناسی
 Table 3- Original and calibrated parameters of the studied daily-to-subdaily Weather Data disaggregation models.

متغیر هواشناسی Meteorological variable	مدل Model	پارامتر Parameter	مقدار پیش فرض پارامتر Original parameter value	مقدار واسنجی شده پارامتر Calibrated parameter value
دمای هوا Air temperature	WAVE I	C_1^a	15.0000	15.2700
		C_2^a	0.0000	-0.3297
	WAVE II	C_3^a	14.0000	13.6040
		C_4^a	10.0000	12.5957
	WCALC	C_5^a	2.0000	2.0893
		C_6^b	0.4632	0.4619
	ERBS	C_7^b	3.8050	2.9003
		C_8^b	0.0984	0.1082
		C_9^b	0.3600	-1.4319
		C_{10}^b	0.0168	-0.0425
		C_{11}^b	0.8220	1.4242
		C_{12}^b	0.0138	0.0124
		C_{13}^b	3.5130	-1.7572
	ESRA	C_{14}^b	0.0000	-1.9973
		C_{15}^b	4.0000	2.8611
	TM	C_{16}^a	0.0000	0.9198
		C_{17}^a	4.0000	3.2511
		C_{18}^a	0.3900	0.1826
فشار بخار واقعی Actual vapour pressure	HUM III	C_{19}^b	0.0000	-0.0810
		C_{20}^b	0.0000	14.6228
		C_{21}^b	0.0000	1.0220
سرعت باد Wind speed	GK	C_{22}^a	13.0000	13.9810
		C_{23}^b	0.5000	0.8772
		C_{24}^b	0.9000	0.6658
		C_{25}^a	14.0000	18.5631
		C_{26}^a	6.0000	5.4021
		C_{27}^b	0.3000	0.1437

^a: پارامترهایی که دارای مقادیر قراردادی هستند

^b: پارامترهایی که دارای مقادیر تجربی هستند

^a: parameters with an arbitrary value

^b: parameters with an experimental value

شده توسط مدل‌های مختلف با مقادیر اندازه‌گیری شده ناشی از کمبود همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده می‌باشد. به گونه‌ای که این عامل، بین ۸۱/۱۶ تا ۹۹/۷۹ درصد از عدم انطباق کل را به خود اختصاص داده و دو عامل دیگر سهم ناچیزی در میزان عدم انطباق کل داشته‌اند. این نکته از گراف‌های ۱:۱ ارائه شده در شکل‌های ۱- الف و ۱- ب نیز قابل استنباط است. همان‌طور که در شکل‌های فوق قابل مشاهده می‌باشد، به‌طور کلی، در سرتاسر دامنه مقادیر اندازه‌گیری شده دمای هوا، میزان اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده دارای دامنه نسبتاً ثابتی بوده و از یک روند افزایشی یا کاهشی خاص تبعیت نمی‌کنند که این نکته از مقادیر کوچک آماره RNU ارائه شده در جدول ۴ نیز قابل استنباط است. مقادیر آماره ضریب همبستگی پیرسون حاکی از آن است که به‌لحاظ برآزش مدل‌های مورد بررسی بر داده‌های اندازه‌گیری شده دمای هوا، ویرایش واسنجی شده مدل TM در رتبه اول و ویرایش اصلی مدل

به‌منظور بررسی میزان وابستگی عملکرد مدل‌های مورد بررسی به واسنجی آن‌ها، مقادیر آماره‌های ارزیابی برای ویرایش اصلی مدل-های مورد بررسی با استفاده از مجموعه داده‌های مورد استفاده برای واسنجی و صحت‌یابی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا نیز محاسبه گردید. با توجه به جدول ۴، مقادیر آماره ME بیانگر آن است که در مرحله واسنجی، ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده مدل WAVE I بیش‌برآوردگر و ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده مدل-های WAVE II، WCALC، کم‌برآوردگر بوده‌اند. همچنین، ویرایش اصلی مدل TM کم‌برآوردگر و ویرایش واسنجی شده آن اندکی بیش‌برآوردگر بوده است. مقایسه مقادیر آماره‌های ME و MAE حاکی از آن است که در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌یابی، این بیش‌برآوردگری یا کم‌برآوردگری در هیچ‌یک از مدل‌های مورد بررسی به‌طور سیستماتیک رخ نداده است و مقادیر آماره‌های RNU، RSB و RLC بیانگر آن هستند که بخش اصلی عدم انطباق مقادیر برآورد

مساوی با ۵/۰ به‌ترتیب، به‌عنوان عملکرد خیلی خوب، خوب، قابل‌قبول و غیرقابل‌قبول در نظر گرفته می‌شوند (۲۱). بر این اساس، همه مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا، دارای عملکرد بسیار خوبی در تبیین تغییرات زمانی دمای هوا در طول شبانه‌روز بوده‌اند. بر اساس مقادیر این آماره می‌توان گفت که در مرحله صحت‌یابی، ویرایش و اسنجی شده مدل‌های مورد بررسی دارای عملکرد بهتری در مقایسه با مرحله واسنجی بوده‌اند که این امر بیانگر قابلیت تعمیم‌پذیری مناسب مدل‌های واسنجی شده می‌باشد.

این امر در مورد ویرایش اصلی مدل‌های مورد بررسی، به‌جز مدل‌های WAVE II، WCALC و TM نیز صادق است که بیانگر اهمیت بیشتر واسنجی مدل‌های یاد شده در مقایسه با سایر مدل‌های مورد بررسی می‌باشد. نمونه‌ای از برازش و ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا به‌ترتیب، در شکل‌های ۲- الف و ۲- ب نشان داده شده است.

ERBS در رتبه آخر قرار دارد. در مطالعات مشابه صورت گرفته، دامنه مقادیر آماره ضریب همبستگی پیرسون برای مدل‌های WAVE I، WAVE II، WCALC، ERBS و ESRA به‌ترتیب، در دامنه ۰/۸۹۳ تا ۰/۹۹۵، ۰/۸۸۹ تا ۰/۹۸۰، ۰/۸۸۹ تا ۰/۹۷۰، ۰/۸۷۴ تا ۰/۹۲۰، ۰/۹۰۴ تا ۰/۹۹۵ و ۰/۹۴۹ تا ۰/۹۸۵ گزارش گردیده است (۷، ۱۰، ۲۹ و ۳۱). در تحقیق حاضر، دامنه تغییرات مقادیر این آماره برای مدل‌های واسنجی شده حاکی از واسنجی موثرتر مدل‌های مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس مقادیر آماره MAE، RMSE و ضریب همبستگی پیرسون ارائه شده در جدول ۴، در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌یابی، ویرایش‌های واسنجی شده مدل‌های TM و ERBS و ویرایش‌های واسنجی شده و اصلی مدل WAVE II به‌ترتیب، با احراز رتبه‌های اول تا چهارم، دارای بهترین عملکرد در مقایسه با سایر مدل‌های مورد بررسی بوده‌اند. به‌طور کلی، مقادیر ضریب کارایی مدل در دامنه ۰/۷۵ تا ۱/۰۰، ۰/۶۵ تا ۰/۷۵، ۰/۵۰ تا ۰/۶۵ و کوچکتر یا

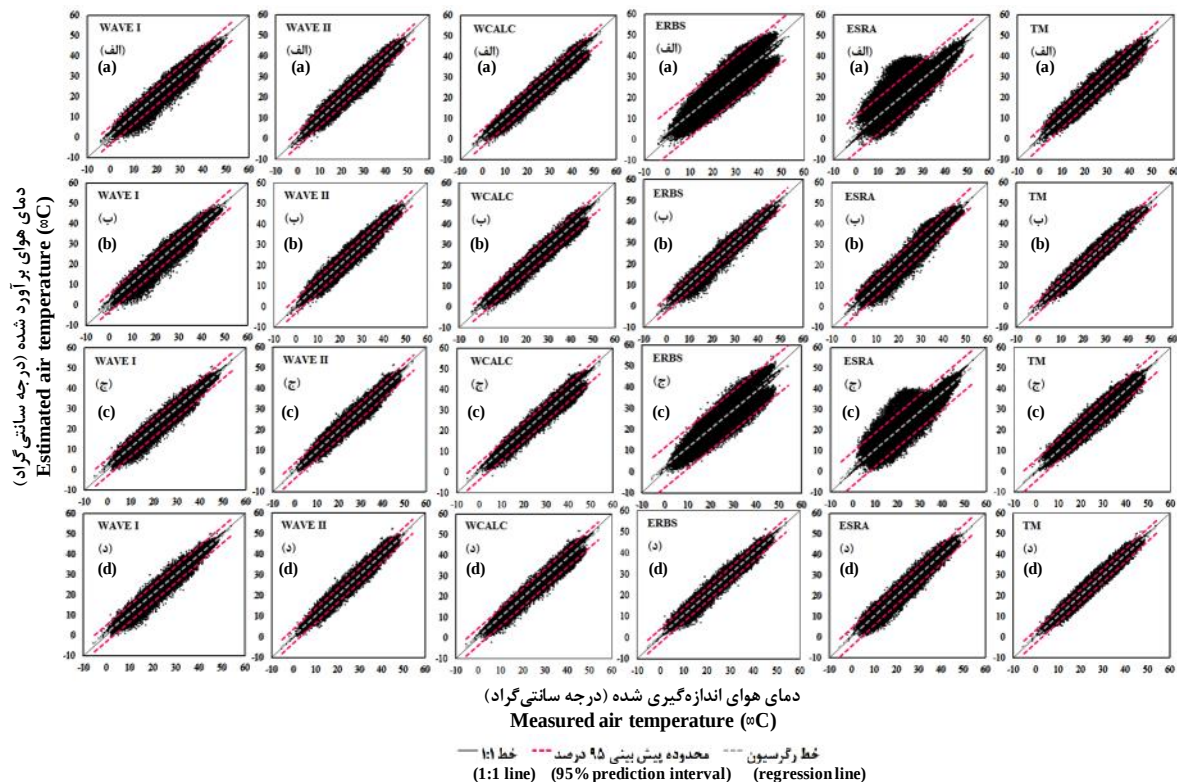
جدول ۴- مقادیر آماره‌های ارزیابی مورد استفاده به‌منظور بررسی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوای روزانه (درجه سانتی‌گراد) ^(*)

Table 4- Evaluation statistics used to evaluate the performance of the studied daily-to-subdaily air temperature (°C) disaggregation models. ^(*)

آماره‌های ارزیابی												رتبه
Evaluation statistics												نهایی
مدل		ME	MAE	RMSE	r	EF	MSE	RSB	RNU	RLC	Final rank	
Model												
مجموعه داده واسنجی (ایستگاه آبادان) Calibration data set (Abadan Station)	ویرایش اصلی Original edition	WAVE I	0.3405	1.5064(8)	2.0392(8)	0.9817(8)	0.9626	4.1583	2.7878	1.8746	95.3376	8
		WAVE	-0.6094	1.2066(4)	1.7116(4)	0.9885(4)	0.9737	2.9296	12.6759	1.2685	86.0555	4
		WCALC	-0.532	1.4757(5)	2.0067(6)	0.9832(5)	0.9638	4.0267	7.0282	6.886	86.0857	5
		ERBS	0.1079	4.0699(12)	4.8571(12)	0.8925(12)	0.7881	23.591	0.0493	7.0274	92.9233	12
		ESRA	-0.5808	2.75(11)	4.0745(11)	0.9252(11)	0.8508	16.6011	2.0320	6.9627	91.0053	11
		TM	-0.2742	1.5754(10)	2.0739(9)	0.9811(9)	0.9614	4.3009	1.7485	0.5847	97.6668	9
	ویرایش واسنجی شده Calibrated edition	WAVE I	0.331	1.4885(7)	2.0076(7)	0.9823(7)	0.9638	4.0304	2.7189	1.8139	95.4672	7
		WAVE	-0.0003	1.1325(2)	1.5632(2)	0.989(3)	0.978	2.4435	0.0000	1.0507	98.9493	2
		WCALC	-0.4734	1.4802(6)	1.9957(5)	0.9831(6)	0.9642	3.9829	5.6263	6.9727	87.401	6
		ERBS	0.2473	1.144(3)	1.5804(3)	0.989(2)	0.9776	2.4977	2.448	3.2626	94.2893	3
		ESRA	0.0651	1.5555(9)	2.1249(10)	0.9806(10)	0.9594	4.5152	0.0939	0.1122	99.7939	10
		TM	0.0241	0.9873(1)	1.3588(1)	0.9917(1)	0.9834	1.8462	0.0315	0.5104	99.4581	1
مجموعه داده صحت‌یابی (ایستگاه اهواز) Validation data set (Ahvaz Station)	ویرایش اصلی Original edition	WAVE I	0.3458	1.5114(8)	2.0183(7)	0.9835(9)	0.9662	4.0736	2.9351	4.5886	92.4763	8
		WAVE	-0.6404	1.256(4)	1.7922(4)	0.9883(4)	0.9734	3.212	12.768	2.9878	84.2442	4
		WCALC	-0.721	1.5207(9)	2.1109(9)	0.9837(8)	0.9631	4.4561	11.6669	7.1766	81.1565	9
		ERBS	-0.5484	3.6807(12)	4.4463(12)	0.9174(12)	0.8361	19.7698	1.521	7.158	91.3209	12
		ESRA	-0.818	2.5555(11)	3.7893(11)	0.942(11)	0.8809	14.3587	4.6602	5.8911	89.4487	11
		TM	-0.2456	1.8085(10)	2.3373(10)	0.9775(10)	0.9547	5.463	0.1041	1.7324	97.1635	10
	ویرایش واسنجی شده Calibrated edition	WAVE I	0.2939	1.4164(5)	1.8958(5)	0.9854(5)	0.9702	3.5941	2.4035	4.5057	93.0908	5
		WAVE	-0.0958	1.1318(3)	1.5376(3)	0.9902(3)	0.9804	2.3642	0.3883	2.5028	97.1088	3
		WCALC	-0.6798	1.4915(7)	2.0583(8)	0.9844(7)	0.9649	4.2367	10.9062	7.2659	81.8279	7
		ERBS	0.1323	1.0847(2)	1.5003(2)	0.9908(2)	0.9813	2.251	0.7779	5.8675	93.3546	2
		ESRA	0.0283	1.4293(6)	1.9232(6)	0.9848(6)	0.9693	3.6988	0.0217	0.2433	99.735	6
		TM	-0.0856	0.9749(1)	1.3506(1)	0.9924(1)	0.9849	1.8241	0.4013	1.585	98.0137	1

^(*) اعداد داخل پرانتز در این جدول، بیانگر رتبه عملکرد هر مدل بر اساس آماره مربوطه می‌باشد

^(*) Rank of each model based on the calculated statistic is given in the parenthesis



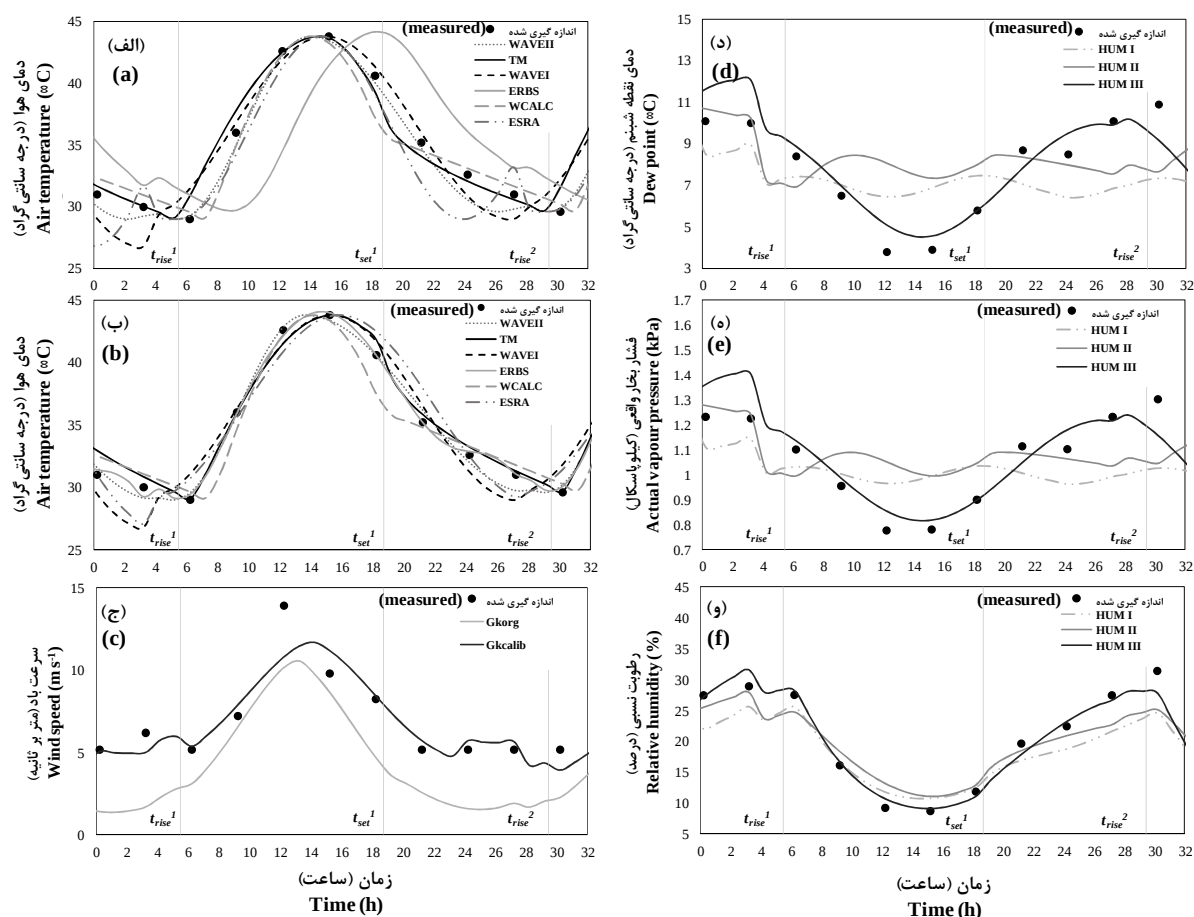
شکل ۱- مقایسه مقادیر دمای هوای زیرروانه اندازه‌گیری شده و برآورد شده (درجه سانتی‌گراد) از طریق ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده مدل‌های مورد بررسی با استفاده از مجموعه داده‌های واسنجی (به ترتیب: الف و ب) و صحت‌یابی (به ترتیب: ج و د)

Figure 1- Comparison of measured vs. estimated subdaily air temperature (°C) via original and calibrated edition of the studied disaggregation models, using calibration (a and b, respectively) and validation (c and d, respectively) data sets

تسلسل خورشیدی استفاده گردید.

ارزیابی مدل ریزمقیاس‌سازی سرعت باد: بر اساس آماره ME، ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده مدل GK در هر دو مجموعه داده واسنجی و صحت‌یابی، مقادیر اندازه‌گیری شده سرعت باد را کم‌برآورد نموده‌اند (جدول ۵). بر اساس مقادیر آماره‌های ME و MAE، این بیش‌برآوردگری یا کم‌برآوردگری در هیچ‌یک از موارد فوق به صورت سیستماتیک رخ نداده است. این موضوع، با توجه به مقادیر آماره RSB و گراف‌های ۱:۱ ارائه شده در شکل ۳ نیز قابل استنباط می‌باشد. با مقایسه مقادیر آماره‌های RSB، RNU و RLC می‌توان گفت کمبود همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل GK (آماره RLC) و محدودیت توانایی مدل GK در بازسازی نوسانات سرعت باد در طول ساعات شبانه روز (آماره RNU) از دلایل اصلی عدم انطباق مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورده شده بوده است.

استفاده از مقادیر پیش‌فرض پارامترهای مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا، منجر به آن گردیده است که مدل‌های مختلف، خصوصاً در ساعات بین غروب تا طلوع آفتاب در روز بعد، الگوی تبیین‌گری متفاوتی داشته باشند (شکل ۲- الف). اما استفاده از مقادیر واسنجی شده پارامترهای مدل‌های مختلف سبب تخفیف تفاوت در الگوی تبیین‌گری مدل‌های مختلف گردیده است (شکل ۲- ب). بر اساس آماره‌های RSB و ME ارائه شده در جدول ۴، با استفاده از داده‌های واسنجی و صحت‌یابی به ترتیب، حدود ۱۲/۶۸ و ۱۲/۷۷ درصد از عدم انطباق کل مقادیر برآورد شده توسط ویرایش اصلی مدل WAVE II با داده‌های اندازه‌گیری شده ناشی از کم‌برآوردگری مقادیر اندازه‌گیری شده دمای هوا می‌باشد که در ویرایش واسنجی شده این مدل سهم این منبع عدم انطباق به ترتیب، به ۰/۳۹ و ۰/۰۰ درصد کاهش یافته است. بر اساس رتبه‌های نهایی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا (جدول ۴)، مدل TM واسنجی شده دارای بهترین عملکرد در مقایسه با سایر مدل‌های مورد بررسی بوده است. از این‌رو، از برآوردهای این مدل به منظور انجام محاسبات مربوط به ریزمقیاس‌سازی رطوبت نسبی، فشار بخار واقعی، دمای نقطه شبنم و



شکل ۲- نمونه‌ای (منطقه آبادان، ۲۱ مرداد ماه ۱۳۸۸) از برازش نسخه اصلی و واسنجی شده مدل‌های ریزمقیاس سازی دمای هوا (به ترتیب، الف و ب)، مدل GK اصلی (GK_{org}) و واسنجی شده (GK_{calib}) برای ریزمقیاس سازی سرعت باد (ج)، رویکردهای HUM I، HUM II و HUM III برای ریزمقیاس سازی دمای نقطه شبنم (د)، فشار بخار واقعی (ه) و رطوبت نسبی (و). t_{rise}^1 و t_{set}^1 به ترتیب، زمان طلوع و غروب خورشید در روز فعلی و زمان طلوع خورشید در روز بعد (ساعت) می‌باشند

Figure 2- An example (Abadan, 12-Aug-2009) of fitness of the original and calibrated edition of air temperature (a and b, respectively), disaggregation models, original (GK_{org}) and calibrated (GK_{calib}) GK model for wind speed disaggregation (c), HUM I, HUM II, and HUM III approaches for disaggregation of dew point (d), vapour pressure (e) and relative humidity (f), where t_{rise}^1 , t_{set}^1 , t_{rise}^2 are the time of sunrise and sunset at current day and the time of sunrise at the following day, respectively

ویرایش اصلی مدل GK، سرعت باد اندازه‌گیری شده را همواره کم-برآورد نموده و هیچ‌یک از ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده این مدل نتوانسته‌اند بر حداکثر سرعت باد اندازه‌گیری شده به‌خوبی برازش یابند. با این حال، هر دو ویرایش مدل GK قادر به تبیین الگوی کلی تغییرات باد در طول ساعات شبانه‌روز بوده‌اند (شکل ۲-ج).

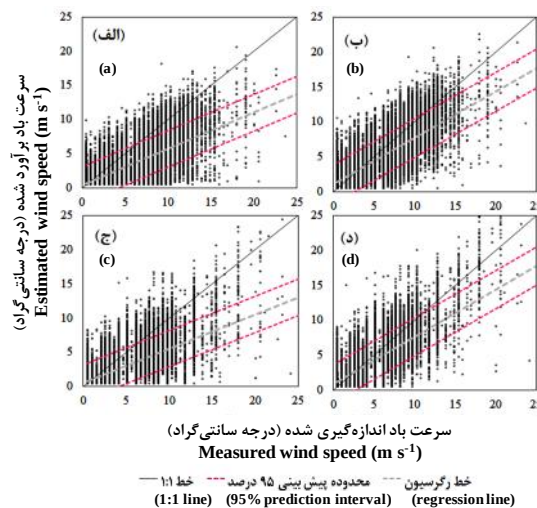
سهم عامل کم‌برآوردگری ویرایش اصلی مدل GK در عدم انطباق کل در هر دو مجموعه داده واسنجی و صحت‌یابی نیز قابل توجه بوده است، اما سهم این عامل در ویرایش واسنجی شده مدل GK در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌یابی بسیار ناچیز است. نکات ذکر شده در شکل ۲-ج که نمونه‌ای از برازش ویرایش اصلی و واسنجی شده مدل GK در تبیین الگوی تغییرات زمانی سرعت باد را نشان می‌دهد نیز قابل مشاهده می‌باشد. بر اساس این شکل،

جدول ۵- مقادیر آماره‌های ارزیابی مورد استفاده به منظور بررسی عملکرد مدل GK ریزمقیاس‌سازی سرعت باد روزانه (متر بر ثانیه)^(*)
 Table 5- Evaluation statistics used to evaluate the performance of the GK model for disaggregation of daily wind speed (m s^{-1})^(*)

آماره‌های ارزیابی											رتبه
Evaluation statistics											نهایی
		ME	MAE	RMSE	r	EF	MSE	RSB	RNU	RLC	Final rank
مجموعه داده واسنجی (ایستگاه آبادان)	ویرایش اصلی	-1.1965	1.5779(2)	2.2520(2)	0.7379(2)	0.3649	5.0716	28.2273	34.7041	37.0685	2
	ویرایش واسنجی شده	-0.0799	1.2742(1)	1.7189(1)	0.7952(1)	0.6300	2.9546	0.2159	30.5478	69.2363	1
Calibration data set (Abadan Station)	ویرایش اصلی	-0.8033	1.3109(2)	1.9852(2)	0.6707(2)	0.3357	3.9410	16.3722	37.7775	45.8503	2
	ویرایش واسنجی شده	-0.0202	1.1251(1)	1.5991(1)	0.7642(1)	0.5690	2.5572	0.0160	24.1251	75.8589	1
مجموعه داده صحت‌یابی (ایستگاه اهواز)	ویرایش اصلی	-0.8033	1.3109(2)	1.9852(2)	0.6707(2)	0.3357	3.9410	16.3722	37.7775	45.8503	2
	ویرایش واسنجی شده	-0.0202	1.1251(1)	1.5991(1)	0.7642(1)	0.5690	2.5572	0.0160	24.1251	75.8589	1
Validation data set (Ahvaz Station)	ویرایش اصلی	-0.8033	1.3109(2)	1.9852(2)	0.6707(2)	0.3357	3.9410	16.3722	37.7775	45.8503	2
	ویرایش واسنجی شده	-0.0202	1.1251(1)	1.5991(1)	0.7642(1)	0.5690	2.5572	0.0160	24.1251	75.8589	1

(*) اعداد داخل پرانتز در این جدول، بیانگر رتبه عملکرد هر مدل بر اساس آماره مربوطه می‌باشد

(*) Rank of each model based on the calculated statistic is given in the parenthesis



شکل ۳- مقایسه مقادیر زیرروزانه سرعت باد اندازه‌گیری شده و برآورد شده (متر بر ثانیه) توسط ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده مدل GK با استفاده از مجموعه داده‌های واسنجی (به ترتیب، الف و ب) و صحت‌یابی (به ترتیب، ج و د)

Figure 3- Comparison of measured vs. estimated subdaily wind speed (m s^{-1}) via original and calibrated edition of the GK model, using calibration (a and b, respectively) and validation (c and d, respectively) data sets

شده از قابلیت تعمیم‌پذیری مناسبی برخوردار است. بر اساس مقادیر آماره‌های MAE ، RMSE و ضریب همبستگی پیرسون ارائه شده در جدول ۵، ویرایش واسنجی شده مدل GK همواره دارای عملکرد بهتری نسبت به ویرایش اصلی مدل فوق بوده است. در مطالعات مشابه صورت گرفته، دامنه مقادیر آماره ضریب همبستگی پیرسون

این نتایج، با نتایج مطالعات دیل و همکاران (۱۰) و سفیق و فارس (۳۱) مطابقت دارد. بر اساس مقادیر آماره ضریب کارایی مدل، عملکرد ویرایش‌های اصلی و واسنجی مدل GK در هر دو مجموعه داده واسنجی و صحت‌یابی به ترتیب، غیر قابل قبول و قابل قبول ارزیابی می‌شود که بر این اساس می‌توان گفت مدل GK واسنجی

دمای هوا (در مورد هر سه مدل)، نقطه شبنم (در مورد مدل HUM I)، رطوبت نسبی (در مورد مدل HUM II) و فشار بخار واقعی (در مورد مدل HUM III) و رابطه توانی فشار بخار اشباع/واقعی با دمای هوا و دمای نقطه شبنم از یک سو و مقید بودن مقادیر حداکثری رطوبت نسبی ($RH(t) \leq 100$) و فشار بخار واقعی ($e^o(T_{dew}(t)) \leq e^o(T(t))$) از سوی دیگر می باشد. دلیل دیگر این امر، محدودیت توانایی مدل های مورد بررسی در بازسازی نوسانات رطوبت نسبی، فشار بخار واقعی و دمای نقطه شبنم در طول ساعات شبانه روز می باشد. این نکته در شکل های ۲- د تا ۲- و که در آن ها نمونه ای از برازش سه مدل یاد شده در تبیین الگوی به ترتیب، دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و تغییرات زمانی رطوبت نسبی در طول شبانه روز نشان داده شده است، قابل مشاهده می باشد.

همان طور که در این شکل ها مشاهده می شود، مدل HUM III نوسانات متغیرهای یاد شده در طول ساعات شبانه روز را به طور مناسب تری تبیین نموده و خصوصا در مورد دمای نقطه شبنم و فشار بخار واقعی، مدل های HUM I و HUM II از قابلیت کمتری به لحاظ تبیین نوسانات شدید متغیرهای یاد شده در طول ساعات شبانه روز برخوردار هستند. این نکته از مقادیر آماره RNU ارائه شده در جدول ۶ نیز قابل استنباط می باشد. همان طور که در این جدول مشاهده می شود، در تمامی موارد، عامل عدم انطباق ناشی از دوران خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱، پس از عامل کمبود همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده، دارای بیشترین سهم در عدم انطباق کل بوده است. این نکته از شکل های ۴ تا ۶ نیز قابل استنباط می باشد. بر این اساس می توان گفت پس از عامل کمبود همبستگی بین مقادیر اندازه گیری و برآورد شده متغیرهای یاد شده، مهمترین عامل عدم انطباق مقادیر اندازه گیری و برآورد شده، ناشی از محدودیت توانایی مدل های مورد بررسی در بازسازی میزان نوسانات متغیرهای هواشناسی یاد شده بوده است.

همچنین، براساس مقادیر آستانه پیشنهادی توسط موربای و همکاران (۲۱) برای آماره ضریب کارایی مدل، مدل HUM III در ریزمقیاس سازی دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و رطوبت نسبی در هر دو مرحله واسنجی و صحت یابی دارای عملکردی بسیار خوب بوده است که این امر بیانگر قابلیت تعمیم پذیری مناسب مدل واسنجی شده می باشد. مدل های HUM I و HUM II نیز دارای عملکرد قابل قبول تا بسیار خوب در ریزمقیاس سازی متغیرهای یاد شده بوده اند. بر اساس مقادیر آماره های MAE، RMSE و ضریب همبستگی پیرسون ارائه شده در جدول ۶ در هر دو مجموعه داده واسنجی و صحت یابی، مدل های HUM III، HUM I و HUM II به ترتیب، رتبه های اول تا سوم عملکرد را در ریزمقیاس سازی دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و رطوبت نسبی احراز نمودند.

برای مدل GK در دامنه ۰/۴۸۰ تا ۰/۷۳۸ گزارش گردیده است (۱۰ و ۳۱). در تحقیق حاضر، دامنه تغییرات مقادیر این آماره برای مدل واسنجی شده حاکی از واسنجی موثرتر این مدل می باشد.

ارزیابی مدل های ریزمقیاس سازی دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و رطوبت نسبی: مقادیر آماره های ارزیابی مورد استفاده به منظور بررسی عملکرد مدل های ریزمقیاس سازی دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و رطوبت نسبی روزانه و رتبه عملکرد هر یک در مراحل واسنجی و صحت یابی در جدول ۶ ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که در بین مدل های ارائه شده در این جدول، تنها مدل HUM III واسنجی گردیده و محاسبه آماره های ارزیابی برای مدل های HUM I و HUM II با استفاده از مجموعه داده های واسنجی و صحت یابی تنها به منظور مقایسه سه مدل فوق صورت گرفته است.

همان طور که در این جدول مشاهده می شود، بر اساس آماره ME، مدل HUM I در مجموعه داده های واسنجی و صحت یابی دمای نقطه شبنم و نیز فشار بخار واقعی را به ترتیب، کم برآورد و بیش برآورد نموده و در هر دو مجموعه داده فوق، مقادیر رطوبت نسبی اشتقاق یافته از دمای نقطه شبنم ریزمقیاس سازی شده کم برآورد گردیده است. همچنین، بر اساس آماره ME، مدل HUM II رطوبت نسبی را در هر دو مجموعه داده های واسنجی و صحت یابی بیش برآورد نموده و مقادیر فشار بخار واقعی و دمای نقطه شبنم اشتقاق یافته از رطوبت نسبی ریزمقیاس سازی شده نیز در هر دو مجموعه داده های واسنجی و صحت یابی بیش برآورد گردیده اند. همین طور، مدل HUM III فشار بخار واقعی را در دو مجموعه داده های واسنجی و صحت یابی به ترتیب، بیش برآورد و کم برآورد نموده و رطوبت نسبی و دمای نقطه شبنم اشتقاق یافته از فشار بخار واقعی ریزمقیاس سازی شده نیز در هر دو مجموعه داده های واسنجی و صحت یابی بیش برآورد گردیده اند. مقایسه مقادیر آماره های ME و MAE حاکی از آن است که در هیچ یک از موارد یاد شده، بیش برآوردگری و کم برآوردگری های صورت گرفته به صورت سیستماتیک رخ نداده است و با توجه به مقادیر آماره RLC، بخش عمده (۶۷/۶۶ تا ۹۷/۴۵ درصد) عدم انطباق مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده ناشی از کمبود همبستگی بین این مقادیر می باشد. این نکته از گراف های ۱:۱ ارائه شده در شکل های ۴ تا ۶ نیز قابل استنباط می باشد. همان طور که در شکل های ۵ و ۶ قابل مشاهده می باشد، خصوصا در مورد مدل HUM I، با افزایش مقادیر فشار بخار واقعی و رطوبت نسبی، میزان اختلاف مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده دارای روندی افزایشی بوده است. این در حالی است که این روند در مورد دمای نقطه شبنم کاهش یافته است (شکل ۴).

یک دلیل این امر انتشار خطای ریزمقیاس سازی مقادیر زیرروزانه

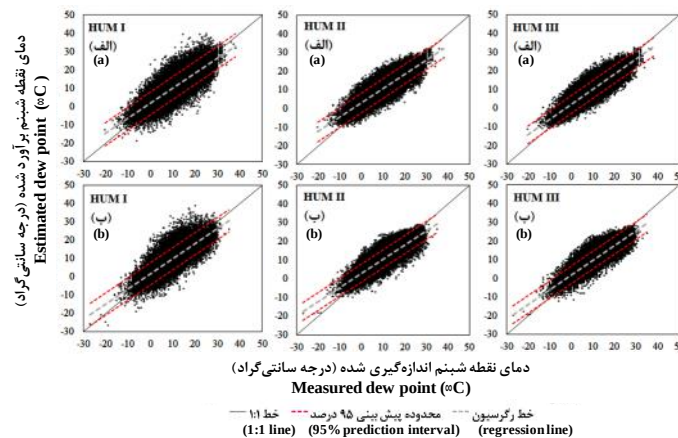
جدول ۶- مقادیر آماره‌های ارزیابی مورد استفاده به منظور بررسی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای نقطه شبنم روزانه (درجه سانتی‌گراد)، فشار بخار واقعی روزانه (کیلو پاسکال) و رطوبت نسبی روزانه (درصد)^(*)

Table 6- Evaluation statistics used to evaluate the performance of the studied daily-to-subdaily dew point ($^{\circ}\text{C}$), actual vapour pressure (kPa), and relative humidity (%) disaggregation models^(*)

متغیر هواشناسی (Meteorological variable)	مدل Model	آماره‌های ارزیابی Evaluation statistics									رتبه نهایی Final rank	
		ME	MAE	RMSE	r	EF	MSE	RSB	RNU	RLC		
دمای نقطه شبنم Dew point	مجموعه داده واسنجی	HUM I	-0.0093	2.5792(3)	3.4399(3)	0.8300(3)	0.6630	11.8329	0.0007	9.3874	90.6119	3
	(ایستگاه آبادان)	HUM II	0.7492	2.3082(2)	3.0798(2)	0.8640(2)	0.7299	9.4854	5.9178	20.2148	73.8674	2
	Calibration data set (Abadan Station)	HUM III	0.2007	2.0216(1)	2.6829(1)	0.8924(1)	0.7951	7.1980	0.5597	18.5171	80.9232	1
	مجموعه داده صحت‌یابی	HUM I	0.0115	2.4091(3)	3.2494(3)	0.8209(3)	0.6398	10.5586	0.0013	8.4300	91.5687	3
	(ایستگاه اهواز)	HUM II	0.7147	2.1531(2)	2.8882(2)	0.8565(2)	0.7154	8.3419	6.1225	20.7651	73.1124	2
	Validation data set (Ahvaz Station)	HUM III	0.0857	1.9964(1)	2.6727(1)	0.8706(1)	0.7563	7.1434	0.1029	18.0593	81.8378	1
فشار بخار واقعی Actual vapour pressure	مجموعه داده واسنجی	HUM I	-0.0032	0.2257(3)	0.3302(3)	0.8182(3)	0.6674	0.0995	0.5769	31.7622	67.6609	3
	(ایستگاه آبادان)	HUM II	0.0467	0.2014(2)	0.2811(2)	0.8632(2)	0.7357	0.0790	2.7635	17.5177	79.7187	2
	Calibration data set (Abadan Station)	HUM III	0.0007	0.1785(1)	0.2563(1)	0.8834(1)	0.7802	0.0657	0.0153	19.2107	80.7740	1
	مجموعه داده صحت‌یابی	HUM I	0.0034	0.2018(3)	0.3046(3)	0.7963(3)	0.6342	0.0825	0.0113	29.7997	70.1890	3
	(ایستگاه اهواز)	HUM II	0.0434	0.1799(2)	0.2598(2)	0.8432(2)	0.7007	0.0675	2.7868	21.1180	76.0952	2
	Validation data set (Ahvaz Station)	HUM III	-0.0060	0.1680(1)	0.2473(1)	0.8540(1)	0.7266	0.0616	0.0289	22.4643	77.5068	1
رطوبت نسبی Relative humidity	مجموعه داده واسنجی	HUM I	-0.9252	7.7546(3)	10.7010(3)	0.9074(3)	0.8151	114.5246	0.7474	5.4986	93.7540	3
	(ایستگاه آبادان)	HUM II	0.4584	6.7220(2)	8.9310(2)	0.9336(2)	0.8712	79.7624	0.2634	13.8006	85.9360	2
	Calibration data set (Abadan Station)	HUM III	-0.0353	6.4143(1)	8.8176(1)	0.9367(1)	0.8744	77.7509	0.0016	4.1719	95.8265	1
	مجموعه داده صحت‌یابی	HUM I	-0.2831	6.6870(3)	9.4402(3)	0.9280(3)	0.8553	89.1170	0.0900	3.2426	96.6675	3
	(ایستگاه اهواز)	HUM II	0.7620	6.0358(2)	8.2208(1)	0.9440(2)	0.8903	67.5820	0.8592	10.4869	88.6540	2
	Validation data set (Ahvaz Station)	HUM III	0.2339	5.9057(1)	8.2451(2)	0.9450(1)	0.8896	67.9815	0.0805	2.4652	97.4543	1

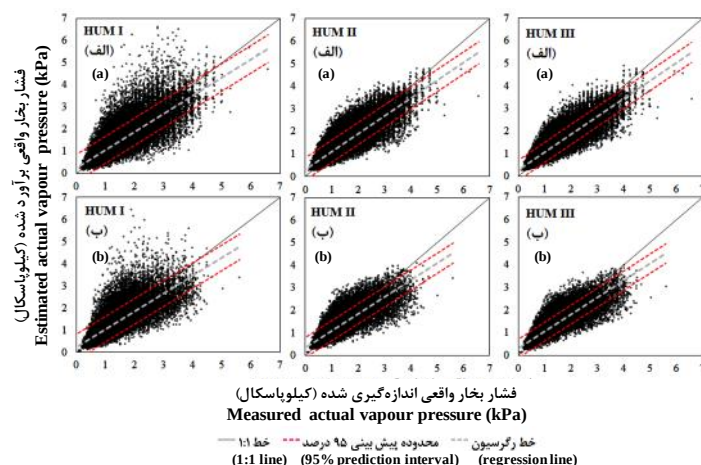
^(*) اعداد داخل پرانتز در این جدول، بیانگر رتبه عملکرد هر مدل بر اساس آماره مربوطه می‌باشد

Rank of each model based on the calculated statistic is given in the parenthesis



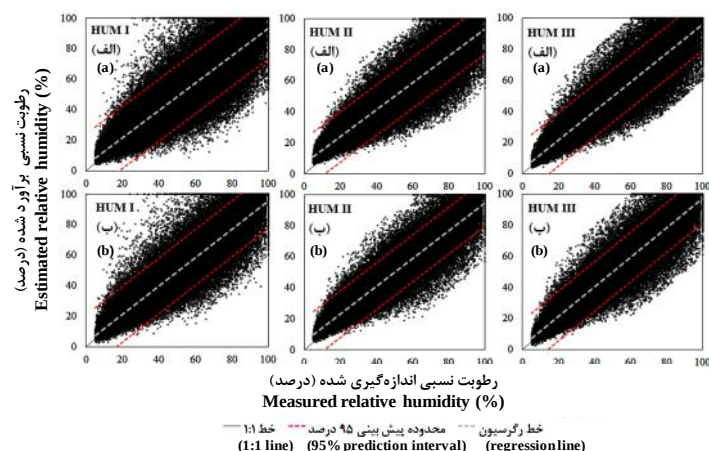
شکل ۴- مقایسه مقادیر زیرروزانه دمای نقطه شبنم اندازه‌گیری شده و برآورد شده (درجه سانتی‌گراد) از طریق مدل‌های مورد بررسی با استفاده از مجموعه داده‌های واسنجی (الف) و صحت‌یابی (ب)

Figure 4- Comparison of measured vs. estimated subdaily dew point ($^{\circ}\text{C}$) via studied disaggregation models, using calibration (a) and validation (b) data sets



شکل ۵- مقایسه مقادیر زیرروزانه فشار بخار واقعی اندازه‌گیری شده و برآورد شده (کیلو پاسکال) توسط مدل‌های مورد بررسی با استفاده از مجموعه داده‌های واسنجی (الف) و صحت‌یابی (ب)

Figure 5- Comparison of measured vs. estimated subdaily actual vapour pressure (kPa) via studied disaggregation models, using calibration (a) and validation (b) data sets



شکل ۶- مقایسه مقادیر رطوبت نسبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده (درصد) توسط مدل‌های مورد بررسی با استفاده از مجموعه داده‌های واسنجی (الف) و صحت‌یابی (ب)

Figure 6- Comparison of measured vs. estimated subdaily relative humidity (%) via studied disaggregation models, using calibration (a) and validation (b) data sets

گزارش نموده‌اند که در مقایسه با آنچه که در پژوهش حاضر برای مقدار این آماره به‌دست آمده است، به‌طور قابل توجهی کمتر می‌باشد. این امر می‌تواند ناشی از انتشار خطای ریزمقیاس‌سازی دمای هوا و دمای نقطه شبنم در محاسبات رطوبت نسبی زیرروزانه باشد.

ارزیابی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی تشعشع خورشیدی: به-دلیل فاقد اعتبار بودن مقادیر تشعشع خورشیدی اندازه‌گیری شده در هر دو ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه، امکان مقایسه مقادیر اندازه-گیری شده و برآورد شده این ویژگی هواشناسی وجود نداشت.

مقادیر آماره ضریب همبستگی پیرسون برای ریزمقیاس‌سازی دمای نقطه شبنم با استفاده از رویکرد HUM I در پژوهش دیبل و همکاران (۱۰) برابر با ۰/۹۱۸ و در پژوهش سفیق و فارس (۳۱) در دامنه ۰/۸۲۶ تا ۰/۸۴ گزارش گردیده است. اختلاف قابل توجه نتایج پژوهش حاضر و سفیق و فارس (۳۱) با پژوهش دیبل و همکاران (۱۰) ناشی از جایگزینی مقادیر متوسط روزانه دمای نقطه شبنم با یک تابع رگرسیونی از دمای روزانه حداقل توسط دیبل و همکاران (۱۰) می‌باشد. همچنین، دیبل و همکاران (۱۰) مقدار آماره ضریب همبستگی پیرسون برای ریزمقیاس‌سازی رطوبت نسبی ۰/۵۰۶

جدول ۷- مقادیر آماره‌های ارزیابی مورد استفاده به منظور بررسی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌سازی تشعشع خورشیدی روزانه (مگاژول بر متر مربع بر روز)^(*)

Table 7- Evaluation statistics used to evaluate the performance of the daily-to-subdaily solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) disaggregation models^(*)

رتبه نهایی Final rank	آماره‌های ارزیابی Evaluation statistics										تابع ریزمقیاس‌سازی ساعات آفتابی روزانه Sunshine duration disaggregation function
	ME	MAE	RMSE	r	EF	MSE	RSB	RNU	RLC		
1	0.5621	0.8488(1)	0.9511(1)	0.9963(1)	0.9778	0.9045	34.9303	26.5337	38.5360	تابع گنبدی شکل Dome-shaped function	مجموعه داده واسنجی (ایستگاه آبادان) Calibration data set (Abadan Station)
2	0.4545	0.8672(2)	1.0524(2)	0.9908(2)	0.9729	1.1075	18.6496	6.7790	74.5715	تابع زنگوله‌ای شکل Bell-shaped function	
1	0.5402	0.8435(1)	0.9528(1)	0.9965(1)	0.9801	0.9079	32.1474	26.9827	40.8699	تابع گنبدی شکل Dome-shaped function	مجموعه داده صحت‌یابی (ایستگاه اهواز) Validation data set (Ahvaz Station)
2	0.3947	0.8966(2)	1.1005(2)	0.9900(2)	0.9734	1.2111	12.8600	5.1611	81.9790	تابع زنگوله‌ای شکل Bell-shaped function	

(*) اعداد داخل پرانتز در این جدول، بیانگر رتبه عملکرد هر مدل بر اساس آماره مربوطه می‌باشد

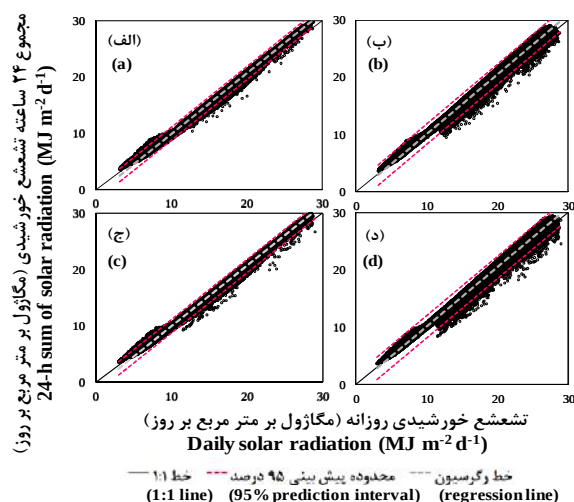
خورشیدی کاهش یابد که مقادیر آماره RNU ارائه شده در جدول ۷ نیز به‌وضوح بیانگر این نکته می‌باشد. به‌گونه‌ای که در هر دو منطقه مطالعاتی، در مقایسه با تابع زنگوله‌ای شکل، عدم توانایی برآوردهای تشعشع خورشیدی حاصل از تابع ریزمقیاس‌سازی گنبدی شکل در بازسازی نوسانات تشعشع خورشیدی روزانه سهم بیشتری در عدم انطباق کل مقادیر مجموع ۲۴ ساعته و روزانه تشعشع خورشیدی داشته است. همچنین، بر اساس آماره RLC، می‌توان گفت در هر دو منطقه مطالعاتی، کمبود همبستگی بین مقادیر روزانه و مجموع ۲۴ ساعته تشعشع خورشیدی حاصل از تابع ریزمقیاس‌سازی زنگوله‌ای شکل دارای بیشترین سهم در عدم انطباق کل مقادیر مجموع ۲۴ ساعته و روزانه تشعشع خورشیدی بوده است. این نکته در شکل ۷ نیز قابل مشاهده می‌باشد. دلیل این امر آن است که در مقایسه با تابع گنبدی شکل، در تابع زنگوله‌ای شکل، ساعاتی از طول روز که در محاسبه تشعشع خورشیدی زیرروانه نقش موثرتری داشته‌اند، محدودتر گردیده و لذا، تشعشع خورشیدی زیرروانه محاسبه شده نسبت به ویژگی‌های هواشناسی ساعات فوق (دما و رطوبت نسبی) از حساسیت بیشتری برخوردار است. همچنین، مقادیر آماره ضریب کارایی مدل بیانگر انطباق بسیار خوب مقادیر مجموع ۲۴ ساعته تشعشع خورشیدی زیرروانه محاسبه شده با استفاده از هر دو تابع ریزمقیاس‌سازی گنبدی و زنگوله‌ای شکل می‌باشد. مقادیر بالاتر این آماره برای مجموعه داده‌های صحت‌یابی حاکی از قابلیت تعمیم‌پذیری مناسب مدل‌های ریزمقیاس‌سازی انتخاب شده برای محاسبه تشعشع خورشیدی زیرروانه است. بر اساس مقادیر آماره‌های MAE،

همچنین، از آنجا که در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه، مقادیر ساعات آفتابی تنها به‌صورت روزانه ثبت شده بود، لذا در ارزیابی حاضر، تنها به مقایسه مجموع ۲۴ ساعته مقادیر تشعشع خورشیدی زیرروانه با مقادیر روزانه محاسبه شده از طریق مدل YNG اکتفا گردید. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، مقادیر آماره ME حاکی از آن است که در هر دو مجموعه داده واسنجی و صحت‌یابی، مجموع ۲۴ ساعته تشعشع خورشیدی زیرروانه محاسبه شده بر اساس توابع ریزمقیاس‌سازی ساعات خورشیدی روزانه گنبدی و زنگوله‌ای شکل، بیش‌برآورد گردیده و میزان این بیش‌برآوردگری در مورد تابع گنبدی شکل در مقایسه با تابع زنگوله‌ای شکل اندکی بیشتر بوده است.

همان‌طور که در جدول ۷ نیز قابل مشاهده است، بر اساس مقادیر آماره RSB، در هر دو منطقه مطالعاتی، در مقایسه با تابع زنگوله‌ای شکل، عامل بیش‌برآوردگری تشعشع خورشیدی با استفاده از تابع گنبدی شکل، سهم بیشتری در عدم انطباق کل مقادیر مجموع ۲۴ ساعته و روزانه تشعشع خورشیدی داشته است. همچنین، مقایسه آماره‌های ME و MAE حاکی از آن است که در هیچ‌یک از موارد فوق، این بیش‌برآوردگری به‌صورت سیستماتیک رخ نداده است که مقادیر آماره RSB و گراف‌های ۱۰:۱ ارائه شده در شکل ۷ نیز مبین این نکته می‌باشند. از سوی دیگر، استفاده از تابع ریزمقیاس‌سازی گنبدی شکل به‌دلیل توزیع یکنواخت‌تر ساعات آفتابی در طول ساعات روز، سبب گردیده است تا در مقایسه با تابع زنگوله‌ای شکل، توانایی مدل تشعشع خورشیدی زیرروانه در بازسازی نوسانات روزانه تشعشع

از این کم‌برآوردگری می‌باشد. این نکته از شکل ۸ نیز قابل استنباط است. دلیل این کم‌برآوردگری آن است که هر دو منطقه مورد مطالعه، مناطقی پست محسوب گردیده و همان‌طور که گفته شد، در مدل AP، فرآیندهای آتمسفری اضمحلال تشعشع خورشیدی به‌طور صریح در نظر گرفته نشده است که این امر می‌تواند به کم‌برآوردگری اثر فرآیندهای فوق و لذا، بیش‌برآوردگری تشعشع خورشیدی بیانجامد. این نتیجه با نتیجه پژوهش یانگ و همکاران (۳۸) مطابقت دارد. مقادیر آماره‌های ارزیابی مورد استفاده به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌سازی منتخب در بازسازی مقادیر متوسط روزانه متغیرهای هواشناسی مورد بررسی در جدول ۹ ارائه گردیده است. در این بررسی، مقادیر بازسازی شده متوسط روزانه متغیرهای هواشناسی مورد بررسی با اتخاذ گام زمانی یک ثانیه اشتقاق یافتند. مقادیر آماره-های ارزیابی ارائه شده در این جدول، حاکی از انطباق بسیار خوب مقادیر روزانه اندازه‌گیری شده و بازسازی شده توسط مدل‌های ریزمقیاس‌سازی منتخب می‌باشد.

RMSE و ضریب همبستگی پیرسون ارائه شده در جدول ۷، در هر دو مجموعه داده واسنجی و صحت‌یابی، در مقایسه با تابع زنگوله‌ای شکل، مقادیر مجموع ۲۴ ساعته تشعشع خورشیدی محاسبه شده با استفاده از هر دو تابع ریزمقیاس‌سازی گنبدی شکل از انطباق بیشتری با مقادیر روزانه تشعشع خورشیدی برخوردار بوده است. برآوردهای مقادیر روزانه تشعشع خورشیدی با استفاده از مدل YNG و مدل AP نیز با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۸ و شکل ۸ ارائه گردیده است. در این بررسی برآوردهای مدل AP به‌عنوان معیار مقایسه در نظر گرفته شده است. مقادیر آماره‌های ضریب کارایی مدل و ضریب همبستگی پیرسون حاکی از انطباق بسیار بالای مقادیر تشعشع خورشیدی روزانه برآورد شده با استفاده از دو روش یاد شده می‌باشد. مقایسه آماره‌های ME و MAE حاکی از آن است که برآوردهای روزانه تشعشع خورشیدی از طریق مدل YNG در بیشتر موارد کمتر از مدل AP بوده است و بر اساس آماره RSB بخش اعظم عدم انطباق برآوردهای دو مدل ناشی

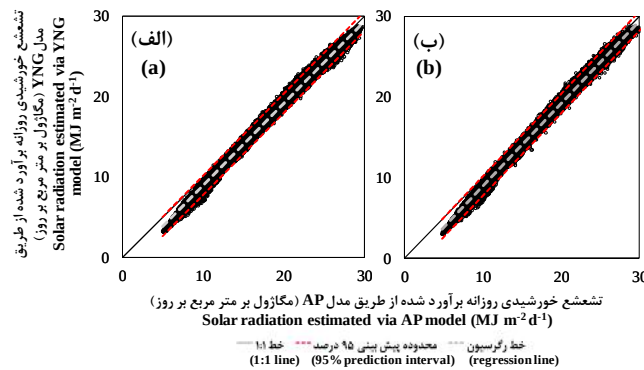


شکل ۷- مقایسه مقادیر تشعشع خورشیدی روزانه و مجموع ۲۴ ساعته (مگاژول بر متر مربع) از طریق توابع ریزمقیاس‌سازی ساعات خورشیدی روزانه گنبدی شکل و زنگوله‌ای شکل و با استفاده از مجموعه داده‌های واسنجی (به ترتیب، الف و ب) و صحت‌یابی (به ترتیب، ج و د)

Figure 7- Comparison of daily vs. 24-h sum of subdaily solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) via dome- and bell-shaped sunshine duration disaggregation functions, using calibration (a and b, respectively) and validation (c and d, respectively) data sets

جدول ۸- آماره‌های ارزیابی در مقایسه برآوردهای تشعشع خورشیدی روزانه از طریق مدل‌های YNG و مدل AP (مگاژول بر متر مربع)
Table 8- Evaluation statistics used to compare the solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) estimates made by YNG and AP models

آماره‌های ارزیابی	Evaluation statistics								
	ME	MAE	RMSE	r	EF	MSE	RSB	RNU	RLC
مجموعه داده واسنجی (ایستگاه آبادان) Calibration data set (Abadan Station)	-0.8382	0.8761	1.0028	0.9965	0.9741	1.0055	69.8362	1.5881	28.5758
مجموعه داده صحت‌یابی (ایستگاه اهواز) Validation data set (Ahvaz Station)	-0.8522	0.8838	1.0193	0.9968	0.9758	1.0390	69.9991	2.3662	27.6347



شکل ۸- مقایسه تشعشع خورشیدی روزانه برآورد شده از طریق مدل‌های AP و YNG در مجموعه داده‌های واسنجی (الف) و صحت‌یابی (ب)
Figure 8- Comparison of daily solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) estimates made by YNG and AP models, using calibration (a) and validation (b) data sets

جدول ۹- مقادیر آماره‌های ارزیابی مورد استفاده به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌سازی منتخب در بازسازی مقادیر متوسط روزانه متغیرهای هواشناسی مورد بررسی

Table 9- Evaluation statistics used to evaluate the performance of the selected daily-to-subdaily disaggregation models for retrieving the daily values of the studied meteorological variables

متغیر هواشناسی		آماره‌های ارزیابی								
(Meteorological variable)		Evaluation statistics								
		ME	MAE	RMSE	r	EF	MSE	RSB	RNU	RLC
مجموعه داده واسنجی (ایستگاه آبادان) Calibration data set (Abadan Station)	سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind speed (m s ⁻¹)	-0.0175	0.0270	0.0318	1.0000	0.9998	0.0010	30.2734	44.2313	25.4953
	دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) Air temperature (°C)	-0.2244	0.5817	0.7256	0.9974	0.9937	0.5265	9.5631	4.4030	86.0339
	دمای نقطه شبنم (درجه سانتی‌گراد) Dew point (°C)	0.2818	0.3181	0.3408	0.9994	0.9957	0.1161	68.3766	1.8661	29.7574
	فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال) Actual vapour pressure (kPa)	0.0357	0.0364	0.0416	0.9995	0.9921	0.0017	73.7627	12.1329	14.1043
	رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)	0.4097	2.0147	2.7296	0.9917	0.9802	7.4507	2.2525	6.5863	91.1612
	مجموعه داده صحت‌یابی (ایستگاه اهواز) Validation data set (Ahvaz Station)	سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind speed (m s ⁻¹)	-0.0086	0.0262	0.0325	0.9999	0.9997	0.0011	6.9962	53.1099
دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) Air temperature (°C)		-0.2127	0.5215	0.6663	0.9980	0.9949	0.4440	10.1901	5.7985	84.0114
دمای نقطه شبنم (درجه سانتی‌گراد) Dew point (°C)		0.2836	0.3149	0.3356	0.9994	0.9950	0.1126	71.4112	2.1010	26.4878
فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال) Actual vapour pressure (kPa)		0.0339	0.0346	0.0390	0.9994	0.9905	0.0015	75.6106	10.3970	13.9925
رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)		0.4884	1.7588	2.4858	0.9941	0.9852	6.1792	3.8610	9.7916	86.3474

نتیجه‌گیری

همچنین، در بین مدل‌های مورد بررسی برای ریزمقیاس‌سازی دمای هوا، ویرایش واسنجی شده مدل‌های TM، WAVE II و ERBS و ویرایش اصلی مدل WAVE II به‌ترتیب، با احراز رتبه‌های اول تا چهارم، دارای بهترین عملکرد در مقایسه با سایر مدل‌های مورد بررسی بودند. این در حالیست که عملکرد ویرایش اصلی مدل TM با استفاده از مجموعه داده‌های واسنجی و صحت‌یابی، به‌ترتیب در رتبه‌های ۹ و ۱۰ ارزیابی قرار گرفت. این امر بیانگر لزوم واسنجی این مدل برای شرایط اقلیمی متفاوت می‌باشد. متقابلاً، رتبه عملکرد

در پژوهش حاضر، عملکرد ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده برخی از مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا، سرعت باد، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی و تشعشع خورشیدی که به‌منظور محاسبه مقادیر زیرروزانه تبخیر-تعرق مرجع مورد نیاز می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مقادیر واسنجی شده پارامترهای قراردادی و تجربی مدل‌های مورد بررسی در دامنه معقول خود قرار دارند.

رطوبت نسبی را می‌توان به این امر نسبت داد. همان‌طور که نشان داده شد، همواره بخش اعظم عدم انطباق مقادیر برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی ناشی از کمبود همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده از طریق مدل‌های ریزمقیاس‌سازی مختلف بود که بخشی از آن ناشی از خطای اندازه‌گیری متغیرهای هواشناسی می‌باشد. از سوی دیگر، همان‌طور که در مورد مدل‌های ریزمقیاس‌سازی سرعت باد، دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و رطوبت نسبی نشان داده شد، پس از عامل کمبود همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده، عدم توانایی مدل‌های یاد شده در بازسازی نوسانات متغیرهای هواشناسی فوق در طول ساعات شبانه‌روز مهمترین عامل عدم انطباق مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده بود. دلیل این امر آن است که بر خلاف مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا، در این مدل‌ها نوسانات روزانه متغیرهای هواشناسی مربوطه به‌عنوان اطلاعات ورودی مدل استفاده نشده و به همین دلیل، توانایی مدل‌های فوق در بازسازی نوسانات متغیرهای مربوطه در طول ساعات شبانه‌روز دچار محدودیت گردیده است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد با لحاظ کردن این عامل بتوان قدرت تبیین‌کنندگی این مدل‌ها را بهبود بخشید. با این وجود، چنین اطلاعاتی همواره در دسترس نیستند. از سوی دیگر، در تمامی مدل‌های مورد بررسی، فرض بر آن است که تغییرات متغیرهای هواشناسی در طول ساعات شبانه‌روز تنها تابع زمان باشد و از اثر رخدادهای ناگهانی دیگر مانند رگبارهای سریع و کوتاه‌مدت یا اثر واحه صرف‌نظر شده است. به‌منظور تخفیف اثرات اریب‌کننده این فرض ساده‌سازی، استفاده از مقادیر متوسط، حداقل و یا حداکثر متغیر هواشناسی مورد بررسی در روزهای قبل و بعد از روز مورد نظر مفید خواهد بود. همان‌طور که در این پژوهش نشان داده شد، آن دسته از مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا که بر اساس چنین اصلی هستند، از قدرت تبیین‌کنندگی بالاتری برخوردار می‌باشند. همچنین، رویکرد مورد استفاده به‌منظور مدل‌سازی تشعشع خورشیدی زیرروزانه بسیار امیدبخش بود و مقادیر مجموع ۲۴ ساعته تشعشع خورشیدی زیرروزانه محاسبه شده از انطباق بسیار خوبی با مقادیر روزانه برخوردار بودند.

ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده مدل WAVE II می‌تواند بیانگر آن باشد که عملکرد این مدل به واسنجی پارامترهای آن چندان حساس نبوده و به عبارت دیگر، مدلی واسنجی-آزاد است. بنابراین، در مناطقی که مقادیر زیرروزانه دمای هوای اندازه‌گیری شده به‌منظور واسنجی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا وجود ندارد، استفاده از مدل WAVE II نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی برتری دارد. همچنین، می‌توان گفت که به‌طور کلی، در خصوص ریزمقیاس‌سازی دمای هوای روزانه، مدل‌هایی که در آن‌ها زمان وقوع مقادیر دمای حداقل و حداکثر به‌عنوان توابعی از زمان طلوع و غروب خورشید بیان می‌شود در مقایسه با مدل‌هایی که یک زمان قراردادی ثابت را برای رخدادهای یاد شده در نظر می‌گیرند از عملکرد بهتری برخوردار هستند. تفاوت قابل توجه عملکرد ویرایش‌های اصلی و واسنجی شده مدل GK برای ریزمقیاس‌سازی سرعت باد، حاکی از لزوم واسنجی این مدل در مناطق با شرایط اقلیمی متفاوت است. در بین سه مدل مورد استفاده برای ریزمقیاس‌سازی دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و رطوبت نسبی مدل تجربی HUM III ارائه شده در پژوهش حاضر از عملکرد بهتری در مقایسه با دو مدل دیگر برخوردار بوده و در عین حال مدل HUM II که فاقد پارامتر تجربی می‌باشد نیز دارای عملکردی قابل قبول بود. لذا در مناطق فاقد مقادیر زیرروزانه اندازه‌گیری شده برای متغیرهای هواشناسی مذکور به‌منظور واسنجی مدل HUM III، استفاده از این مدل قابل توصیه است. بر اساس مقادیر آماره ضریب کارایی مدل می‌توان گفت که به‌طور کلی، مدل‌های ریزمقیاس‌سازی دمای هوا، در مقایسه با مدل‌های ریزمقیاس‌سازی سرعت باد، دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و رطوبت نسبی از قابلیت بسیار بالاتری در تبیین تغییرات زمانی متغیر هواشناسی مورد نظر برخوردار بوده‌اند. اصولاً، در مقایسه با سایر متغیرهای هواشناسی، دمای هوا ساده‌ترین روش اندازه‌گیری را داشته و بنابراین، انتظار می‌رود که با کیفیت‌ترین و قابل اطمینان‌ترین ویژگی هواشناسی ثبت شده باشد (۱). لذا، یکی از دلایل محدودیت در قدرت تبیین‌کنندگی مدل‌های مورد بررسی، خصوصاً مدل‌های ریزمقیاس‌سازی سرعت باد، دمای نقطه شبنم، فشار بخار واقعی و

منابع

- 1- Allen R.G., Walter I.A., Elliott R.L., Howell T.A., Itenfisu D., Jensen M.E., and Snyder R.L. 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, p 192.
- 2- Ångström A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 50: 121–125.
- 3- Baigorria G.A., and Bowen W.T. 2001. A process-based model for spatial interpolation of extreme temperatures and solar radiation. p. 1–9. In: Methodologies for Interdisciplinary Multiple Scale Perspectives. Proceedings of the SAAD III Third International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development, Lima, Peru.
- 4- Bechini L., Ducco G., Donatelli M., and Stein A. 2000. Modelling, interpolation and stochastic simulation in space and time of global solar radiation. Agriculture, Ecosystems and Environment, 81: 29–42.
- 5- Bilbao J., Miguel A., and Kambezidis H.D. 2002. Air temperature model evaluation in the north Mediterranean

- Belt area. *Journal of Applied Meteorology*, 41:872-884.
- 6- Bristow K.L., and Campbell G.S. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31: 159- 166.
- 7- Cesaraccio C., Spano D., Duce P., and Snyder R.L. 2001. An improved model for determining degree-day values from daily temperature data. *International Journal of Biometeorology*, 45: 161-169.
- 8- de Wit C.T. 1978 Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. Wageningen, Pudoc, p 148.
- 9- de Wit C.T., Goudriaan J., and van Laar H.H. 1978. Simulation of Simulation, Respiration and Transpiration of Crops. Pudoc. Wageningen, The Netherlands, 148 pp.
- 10- Debele B., Srinivasan R., and Parlange J.Y. 2007. Accuracy evaluation of weather data generation and disaggregation methods at finer timescales. *Advances in Water Resources*, 30:1286-1300.
- 11- Ehnberg J.S.G., and Bollen M.H.J. 2005. Simulation of global solar radiation based on cloud observations. *Solar Energy*, 78: 157- 162.
- 12- Erbs D.G. 1984. Models and applications for weather statistics related to building heating and cooling loads. Ph.D. thesis, Mechanical Engineering Department, University of Wisconsin-Madison, Wisconsin, Madison, 336 pp.
- 13- ESRA. 2000. European solar radiation atlas (ESRA). In: Scharmer K, Greif J (eds) Database and exploitation software, vol. 2. Commission of the European Communities, Ecole des Mines de Paris, France.
- 14- Gauch H.G., Hwang J.T.G., and Fick G.W. 2003. Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values. *Agronomy Journal*, 95: 1442-1446.
- 15- Green H.M., and Kozek A.S. 2003. Modelling Weather Data by Approximate Regression Quantiles. *Australian and New Zealand Industrial and Applied Mathematics Journal (E)*, 44: C229-C248.
- 16- Gutierrez-Magness A.L., and McCuen R.H. 2004. Accuracy evaluation of rainfall disaggregation methods. *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(2):71-78.
- 17- Hua L.J., Ma Z.G., and Guo W.D. 2008. The impact of urbanization on air temperature across China. *Theoretical and Applied Climatology*, 93: 179-194.
- 18- LADSS. 2004. Climate data “cleaning” process. Available at http://www.macaulay.ac.uk/LADSS/documents/data_cleaning_process.pdf (visited 5 September 2013).
- 19- Medellu C.S., Marsoedi S., and Berhimpon S. 2012. The Influence of Opening on the Gradient and Air Temperature Edge Effects in Mangrove Forests. *International Journal of Basic and Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 12(2): 53-57.
- 20- Meteotest. 2003. Meteororm version 5.0. The global meteorological data base for engineers, planners and education. Software and data on CD-ROM. James and James, London.
- 21- Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harnel R.D., and Veith T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transaction of the ASAE*, 50: 885-900.
- 22- Nash J.E., and Sutcliffe J.V. 1970. River Flow Forecasting Through ConceptualModels- Part I- A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, 10 (3):282-290.
- 23- Parchami-Araghi F., Mirlatifi S.M., Ghorbani Dashtaki Sh., and Mahdian M.H. 2013. Point estimation of soil water infiltration process using Artificial Neural Networks for some calcareous soils. *Journal of Hydrology*, 481: 35-47.
- 24- Parsopoulos K.E., and Vrahatis M.N. 2004. UPSO: a unified particle swarm optimization scheme. In Simos, T., and Maroulis G. (Eds.), *Lecture Series on Computer and Computational Sciences (Vol. 1, pp. 868-873)*. Zeist, The Netherlands: VSP International Science Publishers.
- 25- Parton W.J., and Logan J.A. 1981. A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 23:205-216.
- 26- Podestá G.P., Nunez L., Villanueva C. A., and Skansi M. A. 2004. Estimating daily solar radiation in the Argentine Pampas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123: 41- 53.
- 27- Pomeroy J.W., Toth B., Granger R.J., Hedstrom N.R., and Essery R.L.H. 2003. Variation in surface energetics during snowmelt in a subarctic mountain catchment. *Journal of Hydrometeorology*, 4: 702- 719.
- 28- Prescott J.A. 1940. Evaporation from water surface in relation to solar radiation, *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64: 114- 125.
- 29- Reicosky D.C., Winkelman L.J., Baker J.M., and Baker D.G. 1989. Accuracy of hourly air temperatures calculated from daily minima and maxima. *Agricultural and Forest Meteorology*, 46: 193-209.
- 30- Revfeim K.J.A. 1997. On the relationship between radiation and mean daily sunshine. *Agricultural and Forest Meteorology*, 86: 181-191.
- 31- Safeeq M., and Fares A. 2011. Accuracy evaluation of ClimGen weather generator and daily to hourly disaggregation methods in tropical conditions. *Theoretical and Applied Climatology*, 106: 321-341.
- 32- Tang W.J., Yang K., Qin J., Cheng C.C.K., and He J. 2011. Solar radiation trend across China in recent decades: a revisit with quality-controlled data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11: 393-406.
- 33- Teh C.B.S. 2006. Introduction to mathematical modeling of crop growth: How the equations are derived and

- assembled into a computer program. Boca Raton: Brown Walker Press, 256p.
- 34- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (1979). Map of the world distribution of arid regions: Map at scale 1:25,000,000 with explanatory note. MAB Technical Notes 7, UNESCO, Paris.
- 35- Waichler S.R., and Wigmosta M.S. 2003. Development of hourly meteorological values from daily data and significance to hydrological modeling at H. J. Andrews Experimental Forest. *Journal of Hydrometeorology*, 4:251–263.
- 36- Wilkerson G.G., Jones J.W., Boote K.J., Ingram K.T., and Mishoe J.W. 1983. Modeling soybean growth for crop management. *Transactions of ASAE*, 26: 63-73.
- 37- Yang K., He J., Tang W.J., Qin J., and Cheng C.C.K. 2011. On downward shortwave and longwave radiations over high altitude regions: Observation and modeling in the Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 38–46.
- 38- Yang K., Koike T., and Ye B. 2006. Improving estimation of hourly, daily, and monthly solar radiation by importing global data sets. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137: 43-55.



Development of a Disaggregation Framework toward the Estimation of Subdaily Reference Evapotranspiration: 1- Performance Comparison of some Daily-to-subdaily Weather Data Disaggregation Models

F. Parchami Araghi¹ - S.M. Mirlatifi^{2*} - Sh. Ghorbani Dashtaki³ - M. Vazifehdoust⁴ - A. Sadeghi Lari⁵

Received: 28-01-2014

Accepted: 29-04-2014

Introduction: In order to provide more realistic representation of processes governing the water and energy balances as well as water quality and plant physiological processes, weather data are needed at finer timescales than currently are available at most regions. In this study, a physically based framework was developed to disaggregate daily weather data needed for estimation of subdaily reference evapotranspiration, including air temperature, wind speed, dew point, actual vapour pressure, relative humidity, and solar radiation. In this paper, the results of performance comparison of the utilized disaggregation approaches are presented.

Materials and Methods: In developed framework, missing daily weather data are filled by implementation of a search-optimization algorithm. Meanwhile, disaggregation models can be calibrated using Unified Particle Swarm Optimization (UPSO) algorithm. Daily and subdaily solar radiation is estimated, using a general physically based model proposed by Yang et al. (YNG model). Long-term daily and three-hourly weather data obtained from Abadan (59 years) and Ahvaz (50 years) synoptic weather stations were used to evaluate the performance of the developed framework. In order to evaluate the accuracy of the different disaggregation models, the mean error (ME), mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and Pearson correlation coefficient (r), and model efficiency coefficient (EF) statistics were calculated. Different contributions to the overall mean square error was decomposed, using a regression-based method.

Results and Discussion: The results indicated that compared to the WAVE I, WAVE II, WCALC, ERBS, and ESRA models, the calibrated TM model had the best performance to disaggregate daily air temperature with a EF of 0.9775 to 0.9924. Compared to air temperature disaggregation models with an arbitrary value for the time of maximum and minimum air temperature, the models in which the above mentioned times are described as a function of sunrise and/or sunset had better performance in describing the diurnal variations of the air temperature. HUM III model (based on cosinusoidal disaggregation of daily actual vapour pressure) had the best performance to disaggregate daily dew point, actual vapour pressure, and relative humidity with an EF of 0.7266 to 0.8896. In addition, subdaily wind speeds were predicted with an EF of 0.3357 to 0.6300. The results showed high agreement between daily and sum-of-subdaily solar radiation (with an EF of 0.9801 to 0.9729). The use of the WAVE II and HUM II (based on linear disaggregation of relative humidity) models can be recommended for the regions with no subdaily weather data needed for calibration of the weather data disaggregation models. The results indicate the need for calibration of Green and Kozek model for disaggregation of the daily wind speed at different regions.

Keywords: Evapotranspiration, Physically-base Method, Subdaily Solar Radiation, Unified Particle Swarm Optimization

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor Department of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

(*- Corresponding Author Email: mirlat_m@modares.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Guilan University, Guilan, Iran

5- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran