

بررسی آماری روند تغییرات دمای تر در ایران مرکزی

امیرحسین مشکوتی^۱، سارا سلیمانی^{۲*}، محمد مرادی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- دکترای هواشناسی، دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- دکترای هواشناسی، دانشیار، عضو هیات علمی پژوهشگاه هواشناسی

چکیده

در این پژوهش داده‌های دمای تر ایستگاه‌های ایران مرکزی در ماه‌های مختلف و فصل‌های گرم، سرد و گذر از دیدگاه آماری بررسی شد. نتایج نشان داد که وجود روند صعودی در فصل سرد در یازده ایستگاه تایید و در دو ایستگاه رد شد. بیشترین شیب خط روند در این فصل در ایستگاه‌های قم و داردان و سپس اراک و نطنز با مقادیر به ترتیب $+۰/۵۳$ و $+۰/۵۲$ درجه بر ده سال بدست آمد. کمترین مقدار در این فصل متعلق به ایستگاه اصفهان با مقدار $+۰/۱۷$ درجه بر ده سال بود. در فصل گذر وجود روند صعودی فقط در یک ایستگاه تایید و در ۱۱ ایستگاه رد شد. بیشترین شیب خط روند در این فصل در ایستگاه قم به مقدار $+۰/۴۰$ درجه بر ده سال بدست آمد. در فصل گرم در ایستگاه‌های یزد، اصفهان، گرمسار، بافق، رباط پشت‌بادام، کاشان، خور و بیابانک، نائین، شهرضا، اردستان، گلپایگان و کبوترآباد شیب خط نزولی است و در بقیه ایستگاه‌ها شیب خط صعودی می‌باشد. وجود روند صعودی در ایستگاه‌های اراک و سمنان تایید نشد و در ایستگاه‌های شاهرود، قم، نطنز و داران مورد تایید قرار گرفت که بیشترین شیب خط روند به ایستگاه‌های داران و قم با مقادیر $+۰/۳۰$ و $+۰/۲۷$ درجه بر ده سال تعلق دارد. چنین به نظر می‌رسد که وجود روند صعودی تایید شده بر داده‌های میانگین دمای تر در فصل‌های گرم و گذر که در اثر تغییر اقلیم و بهم خوردن شرایط محیطی حاکم بر ایستگاه‌ها ایجاد شده است، سبب شود تا در ده‌های پیش رو در مناطق مسکونی قم، داران، شاهرود و نطنز، شرایط آسایش زندگی از حالت تعادل خارج شود و ساکنان آن در استفاده از تهویه متبوع سرمایشی متداول مانند کولر آبی به استفاده از تهویه سرمایشی مانند کلرگازی که هزینه زیادی از بابت مصرف انرژی بر خانوار تحمیل می‌کند، روی آورند.

کلید واژه‌ها: دمای تر، آزمون من-کندال، روند، ایران مرکزی.

مقدمه

است و کمتر به اثر تغییر این کمیت پرداخته شده است (مرادی و همکاران، ۱۳۸۰). مونتریو و کابلاریو (۲۰۱۹) مقادیر بالای دمای تر را در مناطق جنوبی پاکستان در ماه‌های قبل از مونسون (می تا ژون) بررسی کردند و نشان دادند که هجوم غیر عادی هوای دریائی از دریای عرب در یک لایه کم عمق زیر ۹۵۰ هکتوپاسکال سبب افزایش دمای تر در مناطق جنوبی پاکستان می‌گردد. ایم و همکاران (۲۰۱۷) امواج گرمائی جنوب آسیا را به کمک مدل‌های اقلیمی با سناریوهای مختلف شبیه سازی کردند. آنها با در نظر گرفتن دمای تر ۳۵ درجه سلسیوس به عنوان آستانه بالا برای بقای انسان، نشان دادند که در جنوب آسیا در پایان قرن بیست و یکم، امواج گرمائی شدید سبب می‌شود که دمای تر از ۳۵ درجه سلسیوس عبور کند و بخشی از جنوب آسیا را با خطر روبرو کند. این خطر به ویژه در مناطق پرجمعیت کشاورزی حوضه آبریز رودخانه گنگ و سند جدی‌تر خواهد بود.

ارزیابی نحوه تاثیر دما و رطوبت بر آسایش انسان نیز، از دیدگاه‌های مختلفی بررسی شده است که بیشتر بر مبنای شاخص‌های حرارتی ارائه شده‌اند. از آنجائی که در فصل زمستان دمای تر به طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود و نحوه محاسبه آن دارای پیچیدگی‌های محاسباتی است، از این رو برخی از این پژوهش‌ها بر اساس دمای خشک و نم نسبی، نمودار زیست اقلیمی که شاخص آسایش را ارزیابی می‌کند، ارائه شده‌اند که از مهمترین آنها میتوان به پژوهش‌های استدمن اشاره کرد (استدمن، ۱۹۷۹؛ ۱۹۸۴). این پژوهشگر بر مبنای تغییرات دمای خشک و نم نسبی رابطه‌ای برای دمای ظاهری بدست آورد و براساس تغییرات این کمیت، ضریب آسایش حرارتی را برای مناطق مختلف کانادا دسته‌بندی کرد و به صورت نمودارهای متداول که بر اساس میزان دما و نم نسبی ساخته شده بود، ضریب آسایش را برای استفاده همگان در دسترس قرار داد. پژوهش‌های این پژوهشگر نیز در ایران مورد توجه زیادی قرار گرفت و محققان زیادی برای یافتن ضریب آسایش حرارتی در جنوب ایران از این شیوه استفاده کردند که مهمترین آن به پژوهش سمیعی و همکاران در سازمان هواشناسی (سمیعی و همکاران، ۱۳۸۰) اختصاص دارد. آسایش گرمائی در سازه‌های صنعتی در مناطق مختلف کشور، بوسیله

یکی از اهداف ویژه در معماری، ایجاد آسایش انسان در سازه‌های بزرگ است که از دیرباز توجه معماران سنتی را به خود جلب کرده است. در معماری سنتی ایران معمولاً نیازهای حرارتی داخل سکونت‌گاه‌ها، با توجه به شرایط اقلیمی منطقه طراحی می‌شد. این طراحی به گونه‌ای بود که در تابستان و زمستان شرایط مناسب زندگی با توجه به شرایط حاکم بر اقلیم منطقه تامین می‌گردید (مرادی و همکاران، ۱۳۹۸) و نیاز به استفاده از ابزارهای مکانیکی را تا حد زیادی کاهش می‌داد. استفاده از فن‌آوری‌های نوین در تهویه مطبوع، تغییر اقلیم و اثر آن بر فعالیت‌های انسانی در مناطق مختلف سبب شده است تا پژوهشگران عرصه مهندسی، هواشناسی و اقلیم‌شناسی همواره به نحوه تغییر کمیت‌های هواشناسی از جمله دمای تر در بلند مدت توجه نمایند (کورینگر و همکاران، ۲۰۱۹) و ضریب راحتی انسان را در سکونتگاه‌ها بهبود بخشند. این پژوهشگران می‌کوشند تا اثرات مخرب تغییر اقلیم بر جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و کشاورزی را کاهش داده (بردا و همکاران، ۲۰۲۰) و با طراحی و انتخاب صحیح تجهیزات سرمایشی و گرمایشی میزان مصرف آب و انرژی را بهینه نمایند (Tan et al., 2017).

یکی از متغیرهای اقلیمی که در محاسبه ضریب آسایش انسان در سازه‌های بزرگ استفاده می‌شود، دمای تر است. این کمیت، دمای یک نمونه هوا است که در آن از هزینه دمای نمونه استفاده می‌شود و تمامی قطرات آب موجود در نمونه به بخار آب تبدیل می‌گردد. در اثر فرایند گرم‌گیر تبخیر، دمای نمونه نسبت به دمای اولیه کاهش می‌یابد (Razak, 2007, Byers, 1998). با توجه به آنکه میزان تبخیر آب بستگی تنگاتنگی با بخار آب موجود در محیط دارد، دمای بالا در محیط بسیار مرطوب (نزدیک به اشباع) به معنی آن است که بسیاری از سامانه‌های تنظیم دمای مبتنی بر تبخیر و تعرق کارآیی خود را از دست خواهند داد.

در فصل سرد که دمای هوا به زیر صفر کاهش می‌یابد، به سبب یخ زدن پارچه موسلین و عدم اندازه‌گیری دمای تر، معمولاً نحوه محاسبه این کمیت بیشتر مورد توجه بوده

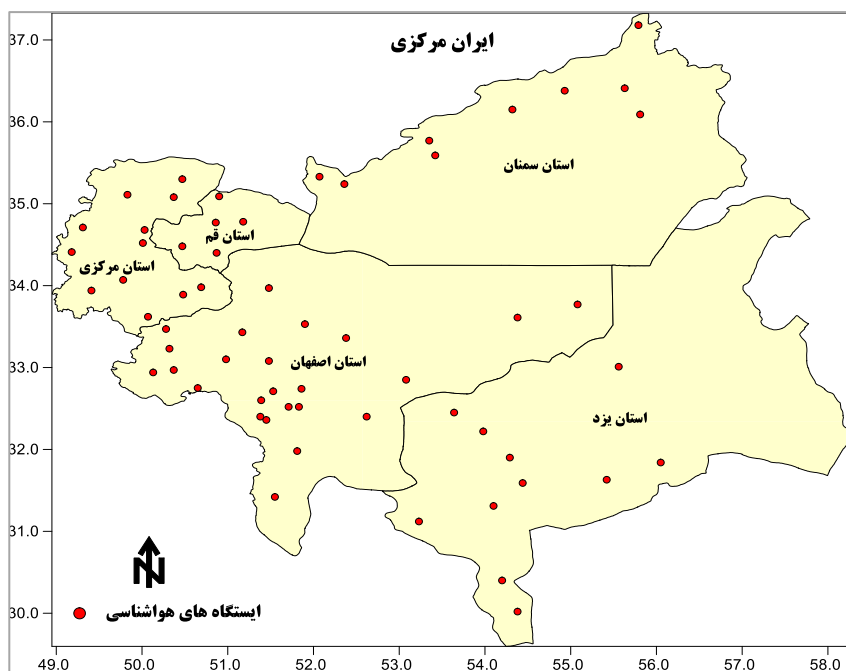
پژوهشگران زیادی بررسی شده است که از مشهورترین آنها می‌توان به کسمائی (۱۳۷۲؛ ۱۳۸۲، ۱۳۸۸) اشاره کرد. کسمائی (۱۳۷۲)، بر اساس شرایط اقلیمی، برای طراحی ساختمان، حدود نیازهای حرارتی را در طراحی بناها مشخص کرده است. او برای اقلیم گرم و مرطوب، کولر گازی و سیستم تهویه متبوع را برای نیاز سرمایشی معرفی کرده است. صبوری و رحیمی (۱۳۹۶) با استفاده از تحلیل داده‌های اقلیمی بر پایه استاندارد اشری (۲۰۱۷)، آسایش اقلیمی مناطق مسکونی شهرهای مختلفی از جمله بندرعباس را بررسی کردند و نشان دادند که در این شهر با اقلیم گرم و مرطوب، ماه بهمن با سی و یک درصد بیشترین شرایط آسایش اقلیمی را داراست و ماه‌های خرداد تا مرداد به طور کامل آسایش حرارتی وجود ندارد.

با توجه به طرح‌های در دست انجام برای آبرسانی به مناطق خشک مرکزی و شرقی کشور از طریق انتقال آب دریا و اتصال خزر به خلیج فارس و دریای عمان که می‌تواند بر محتوای آب جو در این مناطق تأثیر بگذارد، بررسی وضعیت دمای تر در ایران مرکزی و وجود یا عدم وجود روند به نظر ضروری می‌رسد و انتظار می‌رود که این پژوهش بتواند مسائلی را در ارتباط با دمای تر برای پژوهشگران روشن سازد و راه‌های مناسبی را نیز برای

بررسی‌های بیشتر باز نماید. همچنین نتایج این پژوهش می‌تواند مهندسين طراح ساختمان را در طراحی تهويه‌های تبخیری مناسب برای سازه‌های بزرگ کمک نماید. همچنین اقلیم‌شناسان و هواشناسان را در تخمین مقادیر بارش سامانه‌های بارشی عبوری از مناطق مرکزی یاری کند. در صورت آشکارسازی روند صعودی و نزولی دمای تر، این تحقیق می‌تواند به مهندسان و طراحان سازه‌های بزرگ، برای کارایی استفاده از تهویه تبخیری در طراحی تهویه برای ساختمان‌های مسکونی کمک کند.

در این پژوهش از داده‌های دمای تر ایستگاه‌های همدیدی سازمان هواشناسی کشور در محدوده انتخابی استفاده شد. این داده‌ها روزانه هشت نوبت دیدبانی شده است. برای کاستن از حجم مطالب، از آوردن مشخصات ایستگاه‌ها چشم‌پوشی شده است و فقط نام هیجده ایستگاه بررسی شده در جدول ۶ آورده شده است.

محدوده مورد مطالعه این پژوهش ایران مرکزی است که استان‌های قم، مرکزی، اصفهان، یزد و سمنان را در بر می‌گیرد. در این محدوده جغرافیایی تعداد زیادی ایستگاه هواشناسی از نوع همدیدی قرار دارد که موقعیت جغرافیایی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در استان‌های واقع در ایران مرکزی

برای آشکارسازی روند در داده‌ها، ابتدا میانگین روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه هر ایستگاه بدست آمد و سپس با استفاده از نرم افزارهای آماری اکسل و مینی‌تب روند و معادله خط روند براساس آزمون من- کندال در ماه‌ها و فصل‌های مختلف سال ارزیابی شد.

نتایج و بحث

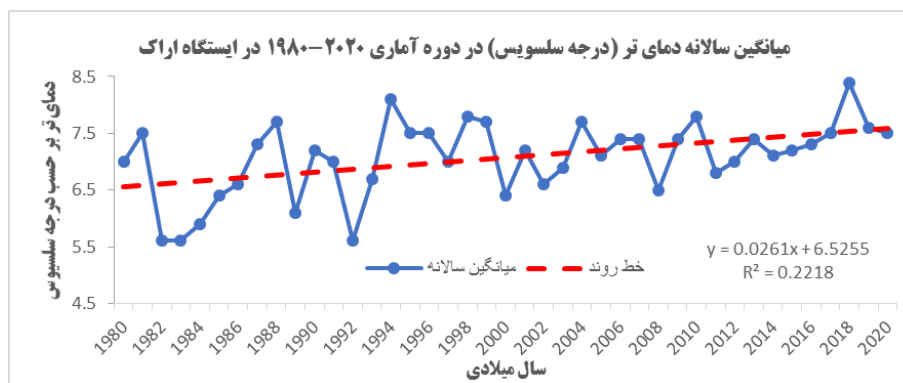
در این بخش تغییرات میانگین ماهانه دمای تر در سال‌های مختلف دوره آماری ایستگاه‌های ایران مرکزی از دیدگاه آماری بررسی می‌شود. برای کاهش حجم مطالب، شکل‌های مربوط به خط روند نیز فقط در چند مورد ویژه ارائه می‌شود. شایان ذکر است که در تمام ایستگاه‌ها، بیشترین (کمترین) میانگین دوره در ماه جولای (ژانویه) برآورد شده است.

بررسی نتایج در استان مرکزی

در این استان نتایج مربوط به داده‌های دمای تر ایستگاه اراک بررسی می‌شود. جدول ۱ ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به ایستگاه اراک را در ماه‌ها و فصل‌های مختلف نشان می‌دهد. از این جدول دیده می‌شود که بر اساس این آزمون وجود روند صعودی در ماه‌های فوریه، مارس، سپتامبر و اکتبر و همچنین فصل سرد و تغییرات سالانه تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده وجود روند تایید نشده است. مطابق این جدول در هر ده سال دمای تر در فصل سرد ۰/۵۲ درجه می‌تواند افزایش داشته باشد. شیب خط روند بر میانگین سالانه دمای تر ایستگاه اراک نیز ۰/۲۷ درجه بر هر ده سال محاسبه شده است که بر اساس آزمون من-کندال تایید شده است. شکل ۲ نمودار خط روند بر میانگین سالانه دمای تر ایستگاه اراک را نشان می‌دهد.

بررسی داده‌های دمای تر ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مطالعاتی نشان داد که برخی از ایستگاه‌ها دوره آماری کوتاهی داشتند و در برخی نیز ناپیوستگی در داده‌ها مشاهده شد. در برخی ایستگاه‌ها تعداد دیدبانی روزانه دمای تر سه یا پنج نوبت در روز ثبت شده بود (مثل ایستگاه‌های ساوه در استان مرکزی و بیارجمند در استان سمنان) و در برخی نیز موقعیت ایستگاه جابجا شده بود (مثل ایستگاه هواشناسی اصفهان که از سال ۱۹۹۳ از پایگاه هوایی بدر در داخل شهر به ازنسنجی در خارج شهر منتقل شد). بنابراین دمای تر این ایستگاه‌ها در این پژوهش بررسی نشد. از آنجائیکه تعداد ایستگاه‌های هواشناسی با دوره آماری سی ساله در ایران مرکزی کم بود از این رو برای تحلیل‌های آماری، از داده‌های ایستگاه‌هایی استفاده شد که طول دوره آماری آنها بیست و هشت سال (دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۳) است و در این ایستگاه‌ها، دمای تر در هشت نوبت در روز ثبت شده باشد. با این معیار هیجده ایستگاه همدیدی برای تحلیل آماری در ایران مرکزی انتخاب شد که برای کاستن از حجم مطالب فقط تحلیل‌های آماری مربوط به ایستگاه‌های قم، اراک، سمنان، فرودگاه اصفهان و یزد ارائه می‌شود. در این ایستگاه‌ها دوره آماری از بدو تاسیس تا پایان دسامبر ۲۰۲۰ انتخاب شد.

در این مقاله دمای تر در فصل‌های گرم، گذر و سرد بررسی می‌شود. ماه‌های می، ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر به عنوان فصل گرم، ماه‌های آوریل و اکتبر به عنوان نماینده فصل گذر و ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر به عنوان نماینده فصل سرد در نظر گرفته شدند.



شکل ۲- تغییرات سالانه میانگین ماهانه دمای تر بر حسب درجه سلسیوس در ایستگاه هواشناسی اراک در دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۲۰

جدول ۱- ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به میانگین ماهانه دمای تر در ایستگاه اراک (۱۹۸۰-۲۰۲۰)

دوره آماری: ۱۹۸۰-۲۰۲۰		ایستگاه: اراک			
شیب خط روند درجه بر ده سال	تایید روند	نوع روند	P-Value	Test Z	ماه
-۰/۵۹	رد	نزولی	۰/۰۶۷۵	۱/۴۹۴۴۸	ژانویه
+۰/۹۹	تایید	صعودی	۰/۰۰۳۱	۲/۷۳۳۲۷	فوریه
+۰/۶۲	تایید	صعودی	۰/۰۰۰۸	۳/۱۲۶۱۰	مارس
+۰/۱۰	رد	صعودی	۰/۲۲۸۸	۰/۷۴۲۷۹۳	آوریل
+۰/۲۰	رد	صعودی	۰/۰۵۰۲	۱/۶۴۲۳۹	می
+۰/۰۲	رد	صعودی	۰/۳۷۶۱	۰/۳۱۵۵۵	ژوئن
-۰/۱۳	رد	نزولی	۰/۱۶۶۵	-۰/۹۶۷۷۵	ژوئیه
-۰/۱۸	رد	نزولی	۰/۰۷۶۶	-۱/۴۲۸۲۶	اوت
+۰/۲۲	تایید	صعودی	۰/۰۱۶۷	۱/۱۲۷۲۲	سپتامبر
+۰/۳۰	تایید	صعودی	۰/۰۴۳۴	۱/۷۱۱۸۳	اکتبر
-۰/۱۲	رد	نزولی	۰/۱۵۰۳	-۱/۰۳۴۸۴	نوامبر
+۰/۴۵	رد	صعودی	۰/۱۱۲۳	۱/۲۱۳۹۹	دسامبر
+۰/۵۲	تایید	صعودی	۰/۰۰۲۲	۲/۸۳۶۹۶	فصل سرد
+۰/۲۰	رد	صعودی	۰/۰۷۶۲	۱/۴۳۰۵۵	فصل گذر
+۰/۰۳	رد	صعودی	۰/۵۳۵۹	-۰/۹۰۱۳۴	فصل گرم
+۰/۲۷	تایید	صعودی	۰/۰۰۳۳	۲/۷۱۵۴۸	سالانه

بررسی نتایج در استان سمنان

در این استان نتایج مربوط به داده‌های ایستگاه‌های سمنان، گرمسار و شاهرود بررسی می‌شود. جدول ۲ ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به ایستگاه سمنان را در ماه‌ها و فصل‌های مختلف نشان می‌دهد. از این جدول دیده می‌شود که براساس این آزمون وجود روند صعودی در ماه‌های فوریه و مارس و هم‌بطور فصل سرد و روند نزولی در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده وجود روند تایید نشده است. مطابق این جدول در هر ده سال دمای تر در فصل سرد ۰/۲۴ درجه سلسیوس می‌تواند افزایش داشته باشد که بر اساس آزمون من-کندال وجود روند تایید شده است.

در ایستگاه گرمسار وجود روند صعودی در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس و همچنین فصل سرد و روند نزولی در ماه‌های جولای و آگوست تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و نیز فصل‌های تعریف شده، در میانگین دمای تر

وجود روند تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل سرد ۰/۳۰ درجه سلسیوس می‌تواند افزایش داشته باشد که بر اساس آزمون من-کندال تایید شده است.

در ایستگاه شاهرود وجود روند صعودی در ماه‌های فوریه، مارس، می، سپتامبر و اکتبر و همچنین در فصل‌های سرد و گرم و میانگین سالانه تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و نیز فصل گذر، در میانگین دمای تر وجود روند تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل گرم ۰/۱۳ و در فصل سرد ۰/۲۴ درجه می‌تواند افزایش داشته باشد. شیب خط روند بر میانگین سالانه دمای تر ایستگاه شاهرود نیز ۰/۱۹ درجه بر هر ده سال محاسبه شده است که بر اساس آزمون من-کندال تایید شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به میانگین ماهانه دمای تر در ایستگاه سمنان (۱۹۸۷-۲۰۲۰)

دوره آماری: ۱۹۸۷-۲۰۲۰		ایستگاه: سمنان			
شیب خط روند درجه بر ده سال	تایید روند	نوع روند	P-Value	Test Z	ماه
+۰/۲۶	رد	صعودی	۰/۰۵۷۲	۱/۵۷۸۲۲	ژانویه
+۰/۴۷	تایید	صعودی	۰/۰۰۰۶	۲/۴۷۲۵۳	فوریه
+۰/۴۵	تایید	صعودی	۰/۰۱۰۸	۲/۲۹۳۹۷	مارس
-۰/۰۲	رد	نزولی	۰/۳۴۶۷	-۰/۳۹۴۰۹	آوریل
-۰/۰۱	رد	نزولی	۰/۴۵۹۶	-۰/۱۰۱۱۹	می
-۰/۱۸	تایید	نزولی	۰/۰۳۵۰	-۰/۸۱۱۷۷	ژوئن
-۰/۲۰	تایید	نزولی	۰/۰۲۲۵	-۲/۰۰۴۶۵	ژوئیه
-۰/۴۷	تایید	نزولی	۰/۰۰۰۱	-۳/۶۹۹۸۲	اوت
-۰/۱۲	رد	نزولی	۰/۰۷۹۷	-۱/۴۰۶۴۸	سپتامبر
+۰/۱۲	رد	صعودی	۰/۲۷۵۵	۰/۵۹۶۰۴۵	اکتبر
-۰/۱۶	رد	نزولی	۰/۱۲۵۵	-۱/۱۴۷۵۲	نوامبر
+۰/۲۰	رد	صعودی	۰/۱۹۳۲	۰/۸۶۵۸۴۳	دسامبر
+۰/۲۴	تایید	صعودی	۰/۰۱۱۴	۲/۲۷۵۹۹	فصل سرد
+۰/۰۶	رد	صعودی	۰/۴۱۹۶	۰/۲۰۲۷۶۰	فصل گذر
+۰/۰۳	رد	صعودی	۰/۹۹۲۴	-۲/۴۳۱۵۸	فصل گرم
-۰/۲۰	رد	نزولی	۰/۵۸۹۲	۰/۲۲۵۶۵۲	سالانه

بررسی نتایج در استان یزد

جدول ۳ ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به ایستگاه یزد را در ماه‌ها و فصل‌های مختلف نشان می‌دهد. از این جدول دیده می‌شود که بر اساس این آزمون وجود روند صعودی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر و دسامبر و فصل سرد و روند نزولی در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت و فصل گرم تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده وجود روند تایید نشده است. مطابق این جدول در هر ده سال دمای تر در فصل سرد ۰/۳۰ درجه سلسیوس می‌تواند افزایش داشته و در فصل گرم ۰/۲۰ درجه سلسیوس کاهش داشته باشد که بر اساس آزمون من-کندال وجود روند در فصل سرد و فصل گرم تایید شده است.

در ایستگاه بافق وجود روند نزولی در ماه‌های جولای تا نوامبر و همچنین در فصل‌های گرم و گذر و همین‌طور میانگین سالانه تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل

سرد، در میانگین دمای تر وجود روند تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل گذر ۰/۴۸ و در فصل گرم ۰/۵۸ درجه می‌تواند کاهش داشته باشد. شیب خط روند نزولی بر میانگین سالانه دمای تر ایستگاه بافق نیز ۰/۴۶ درجه بر هر ده سال محاسبه شده است که بر اساس آزمون من-کندال تایید شده است.

در ایستگاه رباط پشت بادام وجود روند صعودی در ماه مارس و روند نزولی در ماه آگوست تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده وجود روند تایید نشده است.

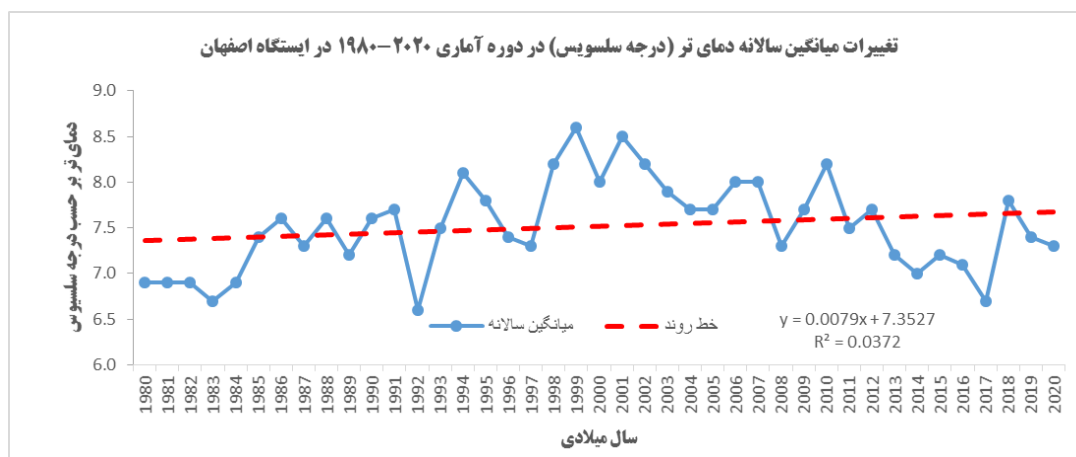
جدول ۳- ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به میانگین ماهانه دمای تر در ایستگاه یزد (۱۹۸۷-۲۰۲۰)

ایستگاه: یزد		دوره آماری: ۱۹۸۷-۲۰۲۰			
ماه	Test Z	P-Value	نوع روند	تایید روند	شیب خط روند درجه بر ده سال
ژانویه	۲/۱۷۲۵۲	۰/۰۱۴۹	صعودی	تایید	+۰/۳۰
فوریه	۲/۸۴۳۴۷	۰/۰۰۲۲	صعودی	تایید	+۰/۵۴
مارس	۲/۰۹۱۶۵	۰/۰۱۸۲	صعودی	تایید	+۰/۳۰
آوریل	۰/۰۲۲۵۲۵	۰/۵۰۸۹	نزولی	رد	-۰/۰۱
می	۰/۱۱۲۶۴۰	۰/۵۴۴۸	نزولی	رد	-۰/۰۳
ژوئن	-۳/۰۴۴۶۲	۰/۰۰۱۱	نزولی	تایید	-۰/۳۰
ژوئیه	-۲/۵۷۷۴۳	۰/۰۰۴۹	نزولی	تایید	-۰/۳۰
اوت	-۲/۶۶۷۰۲	۰/۰۰۳۸	نزولی	تایید	-۰/۳۵
سپتامبر	-۰/۸۹۰۰۹	۰/۱۸۳۲	نزولی	رد	-۰/۰۶
اکتبر	۱/۷۲۱۴۶	۰/۰۴۲۵	صعودی	تایید	+۰/۲۴
نوامبر	۰/۵۲۹۷۳۱	۰/۲۹۸۱	صعودی	رد	+۰/۰۵
دسامبر	۲/۲۱۵۳۰	۰/۰۱۳۳	صعودی	تایید	+۰/۳۹
فصل سرد	۳/۹۴۰۲۲	۰/۰۰۰۰	صعودی	تایید	+۰/۳۰
فصل گذر	۱/۲۶۱۶۲	۰/۱۰۳۵	صعودی	رد	+۰/۱۲
فصل گرم	-۳/۱۸۸۷۳	۰/۰۰۰۷	نزولی	تایید	-۰/۲۰
سالانه	۱/۳۴۷۸۱	۰/۰۸۸۸	صعودی	رد	+۰/۰۶

بررسی نتایج در استان اصفهان

وجود روند تایید نشده است. مطابق این جدول در هر ده سال دمای تر در فصل سرد ۰/۱۷ می‌تواند افزایش داشته باشد که بر اساس آزمون من-کندال وجود روند تایید شده است. شکل ۳ نمودار خط روند بر میانگین سالانه دمای تر ایستگاه فرودگاه اصفهان را نشان می‌دهد.

جدول ۴ ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به ایستگاه فرودگاه اصفهان را در ماه‌ها و فصل‌های مختلف نشان می‌دهد. از این جدول دیده می‌شود که بر اساس این آزمون وجود روند صعودی در ماه‌های فوریه و مارس و فصل سرد تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده



شکل ۳- تغییرات سالانه میانگین ماهانه دمای تر بر حسب درجه سلسیوس در ایستگاه هواشناسی اصفهان در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۲۰

جدول ۴- ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به میانگین ماهانه دمای تر در ایستگاه اصفهان (۱۹۸۷-۲۰۲۰)

دوره آماری: ۱۹۸۷-۲۰۲۰		ایستگاه: اصفهان			
شیب خط روند درجه بر ده سال	تایید روند	نوع روند	P-Value	Test Z	ماه
+۰/۱۸	رد	صعودی	۰/۲۳۲۴	۰/۷۳۰۸۷	ژانویه
+۰/۳۶	تایید	صعودی	۰/۰۳۰۷	۱/۸۶۹۴۲	فوریه
+۰/۲۷	تایید	صعودی	۰/۰۳۶۷	۱/۷۸۹۴۲	مارس
+۰/۰۶	رد	صعودی	۰/۲۲۵۵	۰/۷۵۳۶۱	آوریل
+۰/۱۰	رد	صعودی	۰/۲۴۲۷	۰/۶۹۷۴۲	می
-۰/۱۲	رد	نزولی	۰/۱۶۹۴	-۰/۹۵۶۴	ژوئن
-۰/۰۴	رد	نزولی	۰/۳۸۰۶	-۰/۳۰۳۸۵	ژوئیه
-۰/۲۲	رد	نزولی	۰/۰۸۶۷	-۱/۳۶۰۷۸	اوت
+۰/۰۳	رد	صعودی	۰/۵۶۷۰	-۰/۱۶۸۸۲	سپتامبر
+۰/۱۷	رد	صعودی	۰/۱۷۲۳	۰/۹۴۴۷۷	اکتبر
-۰/۱۳	رد	نزولی	۰/۳۳۸۵	-۰/۴۱۶۴۰	نوامبر
+۰/۲۲	رد	صعودی	۰/۱۰۵۹	۱/۲۴۸۱۶	دسامبر
+۰/۱۷	تایید	صعودی	۰/۰۲۸۴	۱/۹۰۳۸۹	فصل سرد
+۰/۱۳	رد	صعودی	۰/۱۱۴۲	۱/۲۰۴۳۰	فصل گذر
-۰/۰۵	رد	نزولی	۰/۶۸۲۰	-۰/۴۷۳۳۸	فصل گرم
+۰/۰۷	رد	صعودی	۰/۱۳۷۱	۱/۰۹۳۳۲	سالانه

در ایستگاه گلپایگان وجود روند صعودی در ماه مارس و روند نزولی در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر و فصل گرم و میانگین سالانه تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده، در میانگین دمای تر وجود روند تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل گرم ۰/۵۲ درجه سلسیوس می‌تواند کاهش داشته باشد. شیب خط روند نزولی بر میانگین سالانه دمای تر ایستگاه گلپایگان نیز ۰/۱۳ درجه بر هر ده سال محاسبه شده است که بر اساس آزمون من-کندال تایید شده است. در ایستگاه کبوترآباد وجود روند نزولی در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر و فصل گرم تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده، در میانگین دمای تر وجود روند تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل گرم ۰/۰۸ درجه سلسیوس می‌تواند کاهش داشته باشد. در ایستگاه کاشان وجود روند نزولی در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست و هم‌بنظر فصل گرم تایید شده است

در ایستگاه اردستان وجود روند صعودی در ماه مارس و فصل سرد و روند نزولی در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست و فصل گرم تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل سرد، در میانگین دمای تر وجود روند تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل سرد ۰/۲۷ درجه سلسیوس می‌تواند افزایش و در فصل گرم ۰/۲۳ درجه کاهش داشته باشد. در ایستگاه داران وجود روند صعودی در ماه‌های فوریه، مارس، می، ژوئن، سپتامبر و اکتبر و هم‌بنظر در فصل‌های سرد، گرم و میانگین سالانه تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل گذر، در میانگین دمای تر وجود روند تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل سرد ۰/۵۳، فصل گرم ۰/۳۰ درجه سلسیوس می‌تواند افزایش داشته باشد. شیب خط روند صعودی بر میانگین سالانه دمای تر ایستگاه داران نیز ۰/۴۰ درجه بر هر ده سال محاسبه شده است که بر اساس آزمون من-کندال تایید شده است.

درجه بر هر ده سال محاسبه شده است که بر اساس آزمون من-کندال تایید شده است.

در ایستگاه شهرضا وجود روند نزولی در ماه‌های ژوئیه، اوت و فصل گذر تایید شده است. ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده و میانگین سالانه وجود روند بر اساس آزمون من-کندال، تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل گذر ۰/۲۷ کاهش داشته است.

بررسی نتایج در استان قم

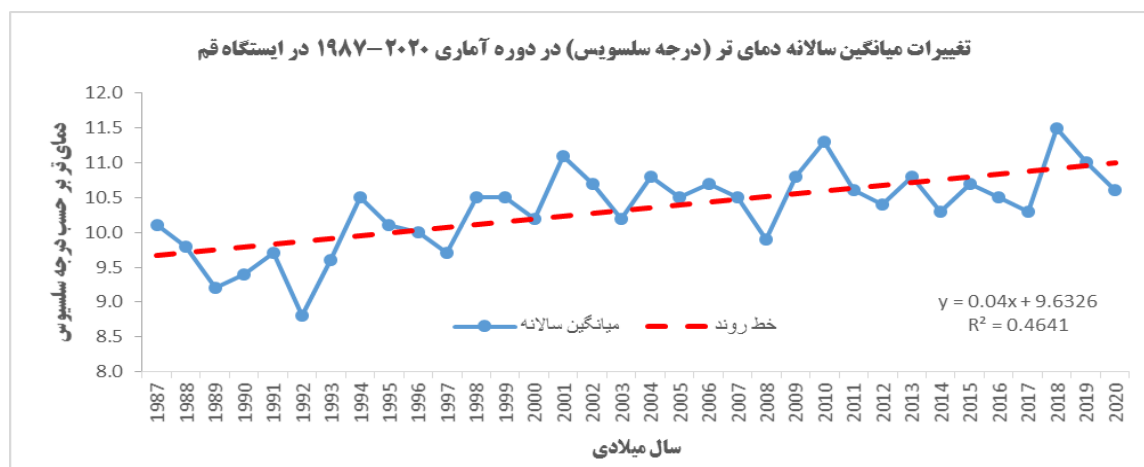
جدول ۵ ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به ایستگاه قم را در ماه‌ها و فصل‌های مختلف نشان می‌دهد. از این جدول دیده می‌شود که بر اساس این آزمون وجود روند در ماه‌های اوت، ژوئیه و دسامبر تایید نشده است ولی در سایر ماه‌ها و نیز فصل‌های تعریف شده، میانگین دمای تر این ایستگاه روند صعودی داشته است. مطابق این جدول در هر ده سال دمای تر در فصل گرم ۰/۲۷، در فصل سرد ۰/۵۳ و در فصل گذر ۰/۴۰ درجه می‌تواند افزایش داشته باشد. شیب خط روند برای میانگین سالانه دمای تر ایستگاه قم نیز ۰/۴۰ درجه بر هر ده سال محاسبه شده است که بر اساس آزمون من-کندال تایید شده است. شکل ۴ نمودار خط روند بر میانگین سالانه دمای تر ایستگاه قم را نشان می‌دهد.

ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده، در میانگین دمای تر وجود روند تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل گرم ۰/۲۷ درجه سلسیوس می‌تواند کاهش داشته باشد.

در ایستگاه خور و بیابانک وجود روند صعودی در ماه‌های مارس و می و روند نزولی در ماه‌های جولای و آگوست تایید شده است ولی در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده، در میانگین دمای تر وجود روند تایید نشده است.

در ایستگاه نائین وجود روند نزولی به جز ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می، اکتبر و دسامبر در سایر ماه‌ها و فصل‌های تعریف شده و هم‌منظور میانگین سالانه تایید شده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل گرم ۰/۰۷، فصل سرد ۰/۳۱، فصل گذر ۰/۴۳ درجه سلسیوس کاهش داشته است. شیب خط روند نزولی بر میانگین سالانه دمای تر ایستگاه نائین نیز ۰/۴۸ درجه بر هر ده سال محاسبه شده است که بر اساس آزمون من-کندال تایید شده است.

در ایستگاه نطنز وجود روند صعودی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می، ژوئن، سپتامبر و فصل‌های سرد، گرم و هم‌منظور میانگین سالانه تایید شده است. ولی در سایر ماه‌ها و فصل گذر وجود روند تایید نشده است. بر این اساس در هر ده سال دمای تر در فصل گرم ۰/۲۶ و فصل سرد ۰/۵۲ درجه سلسیوس افزایش داشته است. روند صعودی در میانگین سالانه دمای تر ایستگاه نطنز نیز ۰/۳۷



شکل ۴- تغییرات سالانه میانگین سالانه دمای تر بر حسب درجه سلسیوس در ایستگاه هواشناسی قم در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۲۰

جدول ۵- ویژگی‌های آزمون من-کندال مربوط به میانگین ماهانه دمای تر در ایستگاه قم (۱۹۸۷-۲۰۲۰).

دوره آماری: ۱۹۸۷-۲۰۲۰		ایستگاه: قم			
شیب خط روند درجه بر ده سال	تایید روند	نوع روند	P-Value	Test Z	ماه
+۰/۵۳	تایید	صعودی	۰/۰۰۸۱	۲/۴۱	ژانویه
+۰/۶۷	تایید	صعودی	۰/۰۲۴۲	۱/۹۷۴	فوریه
+۰/۷۴	تایید	صعودی	۰/۰۰۱۶	۲/۹۵۵	مارس
+۰/۳۷	تایید	صعودی	۰/۰۰۷۱	۲/۴۵۱	آوریل
+۰/۵۴	تایید	صعودی	۰/۰۰۰۶	۳/۸۴۷	می
+۰/۳۵	تایید	صعودی	۰/۰۰۱۲۶	۳/۰۲۱	ژوئن
+۰/۱۰	رد	صعودی	۰/۰۵۹	۱/۵۶	ژوئیه
-۰/۰۳	رد	نزولی	۰/۴۰۶	-۰/۲۳۸	اوت
+۰/۳۵	تایید	صعودی	۰/۰۱۴۵	۲/۱۸۴۶	سپتامبر
+۰/۴۳	تایید	صعودی	۰/۰۳۴	۱/۸۲۵	اکتبر
+۰/۳۶	تایید	صعودی	۰/۰۲۳۳	۱/۹۸۹	نوامبر
+۰/۳۶	رد	صعودی	۰/۰۵۷۹	۱/۵۷۳	دسامبر
+۰/۵۳	تایید	صعودی	۰/۰۰۰۱۳	۳/۶۵۲	فصل سرد
+۰/۴۰	تایید	صعودی	۰/۰۰۲۶	۲/۷۹۲	فصل گذر
+۰/۲۷	تایید	صعودی	۰/۰۰۱۸۴	۲/۹۰۴	فصل گرم
+۰/۴۰	تایید	صعودی	۰/۰۰۰۰۴	۳/۹۳۰	سالانه

جمع‌بندی و نتایج موردی

از بررسی آماری میانگین دمای تر ایستگاه‌های ایران مرکزی در سال‌های مختلف دیده شد که در برخی ایستگاه‌ها در فصل‌های مختلف روند صعودی تایید شده است که شیب خط روند برای هر ده سال، در جدول ۶ نشان داده شده است. در فصل سرد وجود روند صعودی در سیزده ایستگاه (۷۲ درصد) و روند نزولی در ۵ ایستگاه (۲۸ درصد) برآورد شده است. از این تعداد ۲ مورد از روند صعودی و ۴ مورد از روند نزولی بر اساس آزمون من-کندال مورد تایید قرار نگرفت. بیشترین مقدار شیب خط روند در این فصل در ایستگاه‌های قم، اراک، نطنز و داران با مقادیر +۰/۵۳ و +۰/۵۲ درجه بر ده سال برآورد شده است. همچنین کمترین مقدار شیب خط روند در این فصل به ایستگاه‌های بافق و نائین با مقادیر -۰/۳۶ و -۰/۳۱ درجه بر ده سال اختصاص داشته است. وجود روند صعودی در این فصل برای ایستگاه‌های قم، اراک، نطنز و داران می‌تواند سبب کاهش

استفاده از ابزارهای گرمایش و تداوم استفاده از لوازم سرمایشی شود.

در فصل گذر وجود روند صعودی در دوازده ایستگاه (۷۲ درصد) و روند نزولی ۶ ایستگاه (۳۳ درصد) برآورد شده است. از این تعداد ۱۱ مورد از روند صعودی و ۳ مورد از روند نزولی تایید نشد. در این فصل بیشترین مقدار شیب خط روند در ایستگاه‌های قم و داران با مقادیر +۰/۴۰ و +۰/۲۹ و کمترین مقدار آن در ایستگاه‌های نائین و بافق با مقادیر -۰/۴۳ و -۰/۴۰ درجه بر ده سال برآورد شد. در این فصل نیز در ایستگاه‌های قم و داران به سبب وجود روند صعودی تایید شده طولانی شدن طول دوره استفاده از لوازم سرمایشی متداول را می‌توان در نظر گرفت.

در فصل گرم در شش ایستگاه (۳۳ درصد) شیب خط روند صعودی و در دوازده ایستگاه (۶۷ درصد) نیز شیب خط نزولی است. از این تعداد ۲ مورد از روند صعودی و ۵ مورد از روند نزولی تایید نشد. بیشترین شیب خط روند در ایستگاه‌های داران، قم و نطنز با مقادیر +۰/۳۰، -۰/۲۷ و

استفاده از تهویه متبوع سرمایشی متداول با مشکل مواجه نماید. چنین به نظر می‌رسد که وجود روند صعودی تایید شده در میانگین دمای تر فصل‌های گرم و گذر که در اثر تغییر اقلیم و بهم خوردن شرایط محیطی حاکم بر ایستگاه‌ها ایجاد شده است، سبب شود تا در دهه‌های پیش رو در مناطق مسکونی قم، داران و نطنز، شرایط آسایش زندگی از حالت تعادل خارج شود و ساکنان آن در استفاده از تهویه متبوع سرمایشی متداول مانند کولر آبی مجبور شوند تا از تهویه سرمایشی مانند کولر گازی که هزینه زیادی از بابت مصرف انرژی بر خانوار تحمیل می‌کند، استفاده کنند. همچنین به مهندسان و طراحان سازه‌های بزرگ توصیه می‌شود تا در طراحی تهویه مطبوع برای این نوع سازه‌ها مانند نیروگاه‌ها، این مسئله در نظر گرفته شود.

۰/۲۶+ درجه بر ده سال و کمترین آن در ایستگاه‌های نائین، کیوتراآباد، بافق و گلپایگان با مقادیر ۰/۶۶-، ۰/۶۰-، ۰/۵۸- و ۰/۵۲- درجه بر ده سال برآورد شده است.

شایان ذکر است که وجود روند صعودی سالانه در ده ایستگاه (۵۶ درصد) و روند نزولی در هشت ایستگاه (۴۴ درصد) برآورد شده است. از این تعداد ۵ مورد از روند صعودی و ۵ مورد از روند نزولی تایید نشد. بیشترین مقدار شیب خط روند سالانه در ایستگاه‌های قم، داران و داران با مقادیر ۰/۴۰+، ۰/۴۰+ و ۰/۳۷+ و کمترین مقدار آن در ایستگاه‌های نائین و بافق با مقادیر ۰/۴۸- و ۰/۴۶- درجه بر ده سال برآورد شد.

وجود روند صعودی در فصل گرم می‌تواند شرایط آسایش زندگی را از حالت تعادل خارج کند و ساکنان آنرا برای

جدول ۶- شیب خط روند مربوط به میانگین ماهانه دمای تر در ایستگاه‌های ایران مرکزی.

شیب خط روند بر حسب درجه بر ده سال				
سالانه	فصل گرم	فصل گذر	فصل سرد	فصل‌ها
				نام ایستگاه
۰/۲۷+	۰/۰۳+	۰/۲۰+	۰/۵۲+	اراک
۰/۲۰-	۰/۰۳+	۰/۰۶+	۰/۲۴+	سمنان
۰/۱۹+	۰/۱۳+	۰/۱۵+	۰/۲۴+	شاهرود
۰/۰۹+	۰/۱۳-	۰/۰۱+	۰/۳۰+	گرمسار
۰/۴۰+	۰/۲۷+	۰/۴۰+	۰/۵۳+	قم
۰/۰۶+	۰/۲۰-	۰/۱۲+	۰/۳۰+	یزد
۰/۴۶-	۰/۵۸-	۰/۴۰-	۰/۳۶-	بافق
۰/۰۴-	۰/۰۳-	۰/۲۰+	۰/۱۱-	رباط پشت بادام
۰/۰۷+	۰/۰۵-	۰/۱۳+	۰/۱۷+	اصفهان
۰/۱۵-	۰/۲۷-	۰/۱۲-	۰/۰۵-	کاشان
۰/۰۸+	۰/۰۳-	۰/۱۵+	۰/۱۵+	خور و بیابانک
۰/۴۸-	۰/۶۶-	۰/۴۳-	۰/۳۱-	نائین
۰/۲۳-	۰/۳۲-	۰/۲۷-	۰/۰۹-	شهرضا
۰/۳۷+	۰/۲۶+	۰/۲۰+	۰/۵۲+	نطنز
۰/۰۳+	۰/۲۳-	۰/۰۶+	۰/۲۷+	اردستان
۰/۴۰+	۰/۳۰+	۰/۲۹+	۰/۵۳+	داران
۰/۱۳-	۰/۵۲-	۰/۱۲-	۰/۲۷+	گلپایگان
۰/۱۷-	۰/۶۰-	۰/۰۸-	۰/۲۴+	کیوتراآباد
قرمز: صعودی-تایید، نارنجی: صعودی-سرد، زرد نزولی-تایید، آبی: نزولی-سرد				

Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.30, 1757-1765.

13. Singh, A. K. and Singh, D. 2019, Simple Methods for Determination of Wet-Bulb Temperature and Dew-Point Temperature. International Journal of Science and Research (IJSR) · September 2019
 14. Singh, A. K., Poonia, S., Jain, D. And Singh, D., 2019, direct calculation of Wet-Bulb temperature and Dew-Point temperature. International Journal of Agriculture Sciences. Volume 11, Issue 20, 2019, pp.-9169-9171.
 15. Steadman, R.G., 1979: The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. J. Appl. Meteor., 18, 861-873.
 16. Tan, M.L., Ibrahim, A.L., Yusop, Z., Chua, V.P., & Chan, N.W. (2017). Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. Atmospheric Research, 189, 1–10.
 17. Monterio. J. M., Caballero. R. 2019. Characterization of Extreme Wet-Bulb Temperature Events in Southern Pakistan. Geophysical Research Letters, 46.
 18. Im. E. S., Pal. J. S., Eltahir. E. A., 2017. Deadly heat waves projected in the densely populated. Agricultural regions of South Asia.
- منابع
1. Moradi, M., P. Rezazadeh., 2019, Investigation of coincident temperature and relative humidity in Bushehr coastal for air conditions design, Sciences Atmospheric and Meteorology of Journal, V.2, winter 2020.
 2. Alijani, B., M. Salighe. M. Akbari., M. Shafeghati., Climate change, effects, consequences and solutions to deal with it., 2015, the first international conference of geographical sciences, Abadeh.
 3. Farajzadeh Asl, M., 2012, V. Fezi., Revealing temporal-spatial changes of temperature and precipitation elements in Iran, Planning and preparation of space, 16th period, No. 4.
 4. Samie and et al., Technical report of heat index in south of Iran, National Meteorological Organization.
 5. ASHRAE, 2017, Chapter 14, Thermal Comfort, ASHRAE Handbook of Fundamentals, Atlanta Georgia: American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, Inc.
 6. Berry, G., M. J. Reeder, and C. Jakob (2011), A global climatology of atmospheric fronts, Geophys. Res. Lett., 38, L04809, doi: 10.1029/2010GL046451.
 7. Brêda, J. P. L. F., de Paiva, R. C. D., Collischon, W., Bravo, J. M., Siqueira, V. A., & Steinke, E.B. (2020). Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. Climatic Change, 159(4), 503–522.
 8. Gorguner, M., Kavvas, M. L., & Ishida, K. (2019). Assessing the impacts of future climate change on the hydroclimatology of the Gediz Basin in Turkey by using dynamically downscaled CMIP5 projections. Science of the Total Environment, 648, 481–499.
 9. Kothyari, U. C., Singh, V.P., (1996) "Rainfall and temperature trends in India". Hydrological Processes 10: 357–372.
 10. Monteiro, J. M., and Caballero, R. (2019). Characterization of extreme wet-bulb temperature events in Southern Pakistan. Geophysical Research Letters, 46, 10659-10668.
 11. Reddy, S. J., 1976, Simple formulae for the estimation of wet bulb temperature and precipitable water. Indian J. Met. Hydrol. Geophysic, 1976, 27, 2,163-166.
 12. Sadeghi, S. H., Troy, N. P., Doyglas, R. C., Campbell, C. S., 2013, Direct Calculation of Thermodynamic Wet-Bulb Temperature as a Function of Pressure and Elevation .