

## اعتبار سنجی شاخص Humidex در ارزیابی استرس گرمایی مشاغل روباز در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی کشور ایران

حمیدرضا حیدری<sup>۱</sup> - فریده گلبابایی<sup>۲\*</sup> - شهرام ارسنگ جنگ<sup>۳</sup> - علی اکبر شمسی پور<sup>۴</sup>

fgolbabaiei@sina.tums.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۶

### مکیده

**مقدمه:** با توجه به توسعه شاخص‌های گرمایی متعدد و محدودیت‌های مربوط به هر یک، در این مطالعه کاربردپذیری و اعتبار سنجی شاخص دما-رطوبت (Humidex) در مقابل شاخص استاندارد دمای تر گویسان (WBGT) و دمای تیمپانیک افراد مد نظر بوده است.

**روش کار:** این مطالعه به صورت مقطعی در بهار و تابستان ۱۳۹۲ در مشاغل روباز نواحی بیابانی و نیمه بیابانی کشور ایران و بر روی ۱۶۳ کارگر مرد انجام گرفت. پارامترهای محیطی و دمای تیمپانیک افراد به طور هم‌زمان اندازه‌گیری و شاخص‌های حرارتی تعیین شدند. با استفاده از نرم‌افزار SPSS 20، نمودارهای هم‌بستگی خطی و ضریب توافق Kappa تجزیه و تحلیل آماری انجام شد.

**یافته‌ها:** هم‌بستگی دو شاخص Humidex و WBGT در هر دو ناحیه بیابانی و نیمه بیابانی، بسیار بالا به دست آمد ( $r > 0/98$ ) در حالی که شاخص Humidex با دمای تیمپانیک هم‌بستگی متوسطی رانشان داد ( $r = 0/5 - 0/8$ ). بر اساس ضریب توافق به دست آمده Kappa نیز به طور کلی ضریب توافق دو شاخص Humidex و WBGT برابر  $0/878$  و ضریب توافق دو شاخص Humidex و دمای تیمپانیک برابر  $0/226$  حاصل شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه نشان داد شاخص Humidex می‌تواند به عنوان جایگزین مناسبی برای شاخص استاندارد WBGT مورد استفاده قرار گیرد، اما چنان‌چه ارزیابی شرایط دمایی پایین و یا بسیار بالا مد نظر باشد، اکتفا به نتایج ارزیابی شاخص Humidex نمی‌تواند برآورد واقع بینانه‌ای از استرین‌های حرارتی وارد بر فرد را نشان دهد.

== **کلمات کلیدی:** اعتبار سنجی، WBGT، Humidex، نواحی بیابانی و نیمه بیابانی، استرس گرمایی،

مشاغل روباز

۱- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۳- کارشناس ارشد، گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

۴- دانشیار، گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

## مقدمه

توسعه و ارتقاء ایمنی و بهداشت شغلی کارگران در محیط‌های کاری مختلف باعث توجه فزاینده‌ای به این مقوله در سطح جهانی شده است. اثرات سوء ناشی از شرایط اقلیمی در کنار نیازمندی‌های متفاوت شغلی هم‌چون نوع وظیفه، پوشش افراد، تجهیزات حفاظت فردی، ساعات مواجهه طولانی و عدم برخورداری از تسهیلات کنترلی و رفاهی مناسب به‌ویژه در مشاغل روباز باعث شده است، بروز و شیوع استرس‌های گرمایی به‌ویژه در فصول گرم سال افراد بسیاری را رنج دهد، به‌طوری که عوارضی هم‌چون راش‌های پوستی، ضعف گرمایی، کرامپ گرمایی و گرمزدگی سالیانه تعداد کثیری از افراد در معرض را در سنین مختلف حتی کودکان و سالمندان را دچار می‌کند (۱).

کشور ایران از تنوع اقلیمی بسیار گسترده‌ای شامل نواحی کاملاً بیابانی (۳۵/۵٪)، بیابانی (۲۹/۲٪)، نیمه بیابانی (۲۰/۱٪)، معتدل (۵٪) و مرطوب (۱۰٪) برخوردار است و به‌طور کلی ۸۲٪ سرزمین ایران در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی جهان قرار گرفته است. این مناطق که بیش‌تر نواحی مرکزی و جنوبی ایران را شامل می‌شوند، اغلب تابستان‌های بسیار گرم را تجربه می‌کنند (۲).

طبق برآورد کشور ایران حدود ۱۶ میلیون کارگر در ۲ میلیون واحد شغلی در حال فعالیت هستند که از این تعداد، ۴۵ درصد نیروی کاری خدماتی، ۳۰ درصد در بخش کشاورزی و ۲۵ درصد در بخش‌های صنعتی شاغل هستند که به شکل‌های مختلف در معرض عوامل زیان‌آور بهداشتی ناشی از فعالیت کاری قرار دارند. با توجه به این می‌توان پیش‌بینی نمود که تعداد کارگران مشاغل روباز نسبت به مشاغل سرپوشیده بسیار بالاتر باشد (حدود

سه برابر) (۳). این کارگران که اغلب ساعات مواجهه طولانی مدتی را در محیط‌های روباز و زیر تابش مستقیم خورشید سپری می‌کنند، علاوه بر رویارویی با استرس‌های گرمایی به‌صورت طبیعی (ناشی از تابش خورشید) ممکن است در برخی مشاغل هم‌چون آسفالت کاران، کوره‌های آجرپزی، کارگران پالایش‌گاه‌ها و پتروشیمی‌ها و غیره با فرایندهای مصنوعی گرما را نیز مواجهه داشته باشند که در این حالت ریسک مواجهه با استرس‌های گرمایی برای آنها بیش از پیش نمایان می‌شود.

در این راستا اولین گام در اتخاذ سیاست‌های پیش‌گیرانه و مدیریتی، ارزیابی ریسک مواجهه با گرما و شناسایی افراد در معرض می‌باشد. شاخص‌های متعددی برای ارزیابی استرس‌های گرمایی تا کنون ارائه شده‌اند که برخی از آنها هم‌چون شاخص دمایی تر گویسان (WBGT) معتبر و استاندارد بوده و کاربرد پذیری و مقبولیت وسیعی در سراسر دنیا دارند. این شاخص در سال ۱۹۵۷ توسط Yaglou و Minard معرفی و در سال ۱۹۸۹ با استاندارد ISO-7243 پذیرفته شده است و برای محیط‌های روباز و سرپوشیده روابط جداگانه‌ای را ارائه می‌نماید (۴). علیرغم مزایای همراه این شاخص هم‌چون معتبر بودن، سهولت اندازه‌گیری و کاربرد پذیری وسیع این شاخص در سراسر جهان، عواملی هم‌چون نیاز به کالیبراسیون دقیق سنسورهای اندازه‌گیری به‌ویژه سنسور دمایی تابشی، زمان تعادل نسبتاً طولانی (حدود ۲۰ دقیقه) برای ثبات دمایی سنسورهای اندازه‌گیری، نیاز به برآورد پارامترهایی هم‌چون مقاومت عایقی لباس و متابولیسم و تصحیحات مربوطه و همچنین دقت پایین آن در شرایط محیطی با رطوبت بسیار بالا و یا سرعت جریان‌های بسیار پایین هوا باعث شده است که شاخص‌های

آنها حاکی از ارتباط بسیار خوب بین آن دو بود (۱۱-۱۰). Conti و همکاران نیز با بررسی میزان مرگ و میر ناشی از گرما در سال ۲۰۰۴ در ایتالیا به این نتیجه رسیدند که شیوع بالای مرگ و میر با مقادیر بالای شاخص Humidex در ارتباط است (۱۲). مقدار پذیرفته شده این شاخص برای کاهش ریسک‌های گرمایی بیش از اندازه،  $35^{\circ}\text{C}$  می‌باشد (۱۳). همچنین در گستره دمایی بین  $40^{\circ}\text{C}$ - $45^{\circ}\text{C}$  اکثر افراد احساس ناراحتی می‌کنند و در مقادیر بالاتر از  $45^{\circ}\text{C}$  انجام بسیاری از کارها باید محدود گردد (۱۴).

با توجه به آنچه در فوق بدان اشاره شد، هدف این مقاله بررسی و اعتبار سنجی شاخص Humidex در ارزیابی شرایط گرمایی در نواحی اقلیمی بیابانی و نیمه بیابانی حاکم بر کشور ایران بود. از این‌رو، شاخص استاندارد استرس گرمایی WBGT و هم‌چنین پاسخ فیزیولوژیکی دمای پرده صماخ افراد در معرض گرما به‌عنوان مبنای اعتبارسنجی و مقایسه قرار گرفت. هم‌بستگی دمای پرده صماخ با دمای رکتال در مطالعات متعددی بررسی و مورد تایید قرار گرفته است و به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای دمای رکتال در شرایطی که امکان سنجش مستقیم دمای رکتال میسر نمی‌باشد (همانند محیط‌های واقعی کار در مشاغل روباز که مد نظر مطالعه حاضر می‌باشد) معرفی شده است، اگرچه برخی از مطالعات نیز نتایج متفاوتی ارائه نموده اند (۱۹-۱۵).

### روش کار

در این مطالعه با توجه به مشخصات اقلیمی نواحی مختلف کشور (۱)، و با تاکید بر شرایط اقلیمی حاکم بر این نواحی در فصول گرم سال، شش

متعدد دیگری نیز در این حوزه در سال‌های متعددی معرفی شوند (۶-۵). یکی از این شاخص‌ها، شاخص دما-رطوبت (Humidex) می‌باشد. Humidex یا HD یک شاخص استرس حرارتی است که توسط Masterton و Richardson در سال ۱۹۷۹ برای ارتباط شرایط آسایش حرارتی با دو پارامتر مهم از پارامترهای هواشناسی شامل دمای هوا و رطوبت نسبی معرفی گردید (۷). فرمول ارائه شده برای این شاخص بر پایه دو فرضیه مرتبط با سیستم تنظیم حرارت بدن استوار است که عبارتند از: (۱) نقطه تعادل بدن انسان که در هوای ساکن و به‌صورت برهنه با گرما مواجه است، بر اساس معادله تعادل بدن، در گستره ۲۷ تا  $30^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد است و (۲) بدن انسان قادر به فایق آمدن بر گرمای بیش از  $32^{\circ}\text{C}$  درجه در حضور رطوبت بیش از ۷۵ درصد نمی‌باشد (۸). بر اساس دو فرضیه فوق، می‌توان گفت که شاخص Humidex یک شاخص تجربی است که برای شرایط اقلیمی خاص (نواحی معتدل کانادا) به‌کار می‌رود و بسیاری از عوامل موثر بر استرس‌های حرارتی هم‌چون مقاومت لباس، میزان متابولیسم، سرعت جریان‌های هوا و رطوبت‌های مختلف را ذاتا در نظر نمی‌گیرد (۹). اگرچه این شاخص در ابتدا به منظور پیش‌بینی وضع هوا مورد استفاده قرار می‌گرفت، اما به دلیل استفاده راحت و ساده آن (حتی ساده‌تر از شاخص WBGT) و بی‌نیازی به وسایل اندازه‌گیری پیچیده، کاربرد آن در ارزیابی استرس‌های گرمایی محیط‌های حرارتی روباز و سرپوشیده مورد توجه قرار گرفت. Santee و همکاران (۲۰۰۵) به منظور اعتبار سنجی این شاخص، دمای رکتال پیش‌بینی شده بر اساس معادله تعادل حرارتی را با مقادیر به‌دست آمده از شاخص Humidex مورد مقایسه قرار دادند که نتایج

پوشش افراد مطابق با استاندارد ISO-9920, ۲۰۰۷ (۲۱) برآورد گردید. در مجموع ۱۶۳ کارگر از پنج ناحیه اقلیمی انتخابی در این مطالعه وارد شدند، به طوری که ۱۰۶ نفر از نواحی بیابانی و ۵۷ نفر از نواحی نیمه بیابانی انتخاب و وارد مطالعه گردیدند.

پارامترهای محیطی شامل دمای هوا، دمای تر طبیعی و دمای گوی سان و شاخص WBGT توسط سستگاه پیشرفته سنجش WBGT مدل Microther-mCassella، ساخت کشور انگلستان، رطوبت نسبی و نقطه شبنم توسط دستگاه مدل Lotron - PHB 318 ساخت کشور تایوان در فواصل زمانی سه ساعته در ساعات ۹، ۱۲ و ۱۵ و در ایستگاه‌های کاری افراد اندازه‌گیری و ثبت گردید. کالیبراسیون کلیه دستگاه‌های سنجش قبل از نمونه برداری مورد توجه و از طریق مراکز ذی صلاح، مورد تایید قرار گرفت. با توجه به مقادیر پارامترهای محیطی اندازه‌گیری شده، دو شاخص WBGT (C°) برای محیط‌های روباز و Humidex (C°) به ترتیب بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند (۴ و ۸).

$$t_a / 10 + t_g / 20 + t_{nw} / 70 = WBGT_{Outdoor} \quad (1)$$

که در این رابطه  $t_g$ ،  $t_a$ ،  $t_{nw}$  به ترتیب دمای

ناحیه شامل چهار ناحیه بیابانی (شهرستان‌هایی نظیر قم، کرمان، بندر عباس و یزد) و دو ناحیه نیمه بیابانی (شهرستان‌هایی نظیر اهواز و مشهد) به عنوان محل‌های اجرای مطالعه به منظور بررسی کاربردپذیری شاخص Humidex انتخاب شدند (جدول ۱). به منظور انتخاب اقلیم‌های مورد مطالعه از طبقه بندی دمارتن اصلاح شده استفاده گردید (۱). در هر ناحیه تعداد مشخصی از افراد به صورت تصادفی از مشاغل روباز انتخاب و پس از تبیین اهداف پژوهش و آموزش‌های لازم به ایشان، به طور داوطلبانه وارد پژوهش شدند. در انتخاب افراد، پارامترهایی هم‌چون سازش با گرما، نداشتن سابقه بیماری‌های قلبی عروقی، کلیوی، فشار خون، تب و نیز عدم مصرف دارو، مورد توجه قرار گرفت. هم‌چنین از ورود افرادی با سابقه کم‌تر از یک سال کار در شرایط محیط‌های روباز اجتناب به عمل آمد. با توجه به میزان بار کاری افراد که غالباً در گستره متوسط قرار داشت، میانگین میزان متابولیسم افراد در این مطالعه مطابق با استاندارد ISO- 8996, ۲۰۰۴ (۲۰) در گستره متابولیسم متوسط (۲۳۴ تا ۳۶۰ وات) قرار گرفت. از طرفی، مقاومت عایقی

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی نواحی و شهرستان مورد مطالعه (۱)

شهرستان انتخابی**	ایستگاه‌های سینوپتیکی** در منطقه اقلیمی	مشخصات اقلیمی*	توزیع تعداد نمونه در هر اقلیم	طبقه اقلیمی
قم	تهران، قم، اراک، قزوین، سمنان، کاشان	نواحی بیابانی، خنک و گرم تا بسیار گرم	۲۵	بیابانی (n=۱۰۶)
کرمان	بیرجند، کرمان	نواحی بیابانی، خنک و گرم	۳۰	
یزد	یزد، زاهدان، اصفهان	نواحی بیابانی، خنک و بسیار گرم	۲۴	
بندرعباس	بوشهر، چابهار، بندرعباس	نواحی بیابانی، متوسط و بسیار گرم	۲۷	نیمه بیابانی (n=۵۷)
اهواز	اهواز، ایلام	نواحی نیمه بیابانی، متوسط و بسیار گرم	۲۷	
مشهد	بجنورد، زنجان، شیراز، مشهد	نواحی نیمه بیابانی، خنک و گرم	۳۰	

\* عبارت خنک در مشخصات اقلیمی یکی از مشخصات شرایط آب و هوایی در فصل زمستان است و ضرورتاً در فصول گرم سال (بهار و تابستان) وجود ندارد.

\*\* Synoptic stations

\*\*\* علت انتخاب مراکز استان در هر ناحیه انتخابی به علت تمرکز صنایع و شاعلین بیش تر بوده است.

دو پارامتر دما و رطوبت در این مطالعه، گستره‌های دمایی و رطوبتی به صورت قراردادی تعریف گردید و همبستگی شاخص‌ها در هر یک از گستره‌های دمایی و رطوبتی تعریف شده به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت. گستره‌های دمایی مورد مطالعه عبارت بودند از مقادیر کم‌تر از  $23^{\circ}\text{C}$ ، مقادیر بین  $23-30^{\circ}\text{C}$  و مقادیر بیش‌تر از  $30^{\circ}\text{C}$  که به ترتیب نماینده شرایط دمایی پایین، متوسط و بالا در این مطالعه لحاظ شدند. گستره‌های رطوبتی تعیین شده در این مطالعه نیز برابر مقادیر رطوبت‌های کم‌تر از ۳۰٪، بین ۳۰ تا ۶۰٪ و در نهایت رطوبت‌های بالاتر از ۶۰٪ بودند که به طور مشابه و به ترتیب بیان‌گر شرایط رطوبتی پایین، متوسط و بالا بودند. با توجه به تعداد افراد (نمونه ۱۶۳ نفر)، تعداد اندازه‌گیری‌های هر متغیر در روز (۳ مرتبه) و تکرار آنها در دو نوبت بهار و تابستان، در مجموع برای هر متغیر ۹۷۸ اندازه‌گیری ثبت گردید. به منظور مقایسه پاسخ شاخص‌ها و اعتبار سنجی شاخص Humidex، مقدار استاندارد شاخص WBGT برای افراد سازش یافته در شرایط کاری متوسط و مقاومت عایقی لباس سبک و تابستانی، برابر  $28^{\circ}\text{C}$  و مقادیر استاندارد شاخص‌های Humidex و دمای گوش به ترتیب برابر  $35^{\circ}\text{C}$  و  $37/5^{\circ}\text{C}$  منظور گردید. به منظور تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS، آزمون‌های آماری همبستگی خطی و ضریب توافق Kappa استفاده گردید.

### ≡ یافته ها

اطلاعات دموگرافیک افراد مورد مطالعه شامل میانگین و انحراف معیار سن و سابقه کار به ترتیب برابر  $28/76 \pm 35/63$  و  $7/08 \pm 11/60$  سال تعیین گردید. مقادیر میانگین و انحراف معیار سایر پارامترها

هوا، دمای تر طبیعی و دمای گویسان بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

$$\text{Humidex} = (\text{air temperature}) + h$$

که در آن:

$$h = (0.5555) \times (e - 10.0)$$

و

$$e = 6.11 \times \exp(5417.7530 \times \left( \left( \frac{1}{273.16} \right) - \left( \frac{1}{D} \right) \right))$$

گستره این شاخص بین ۲۰ تا مقادیر بیش‌تر از  $54^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۸).

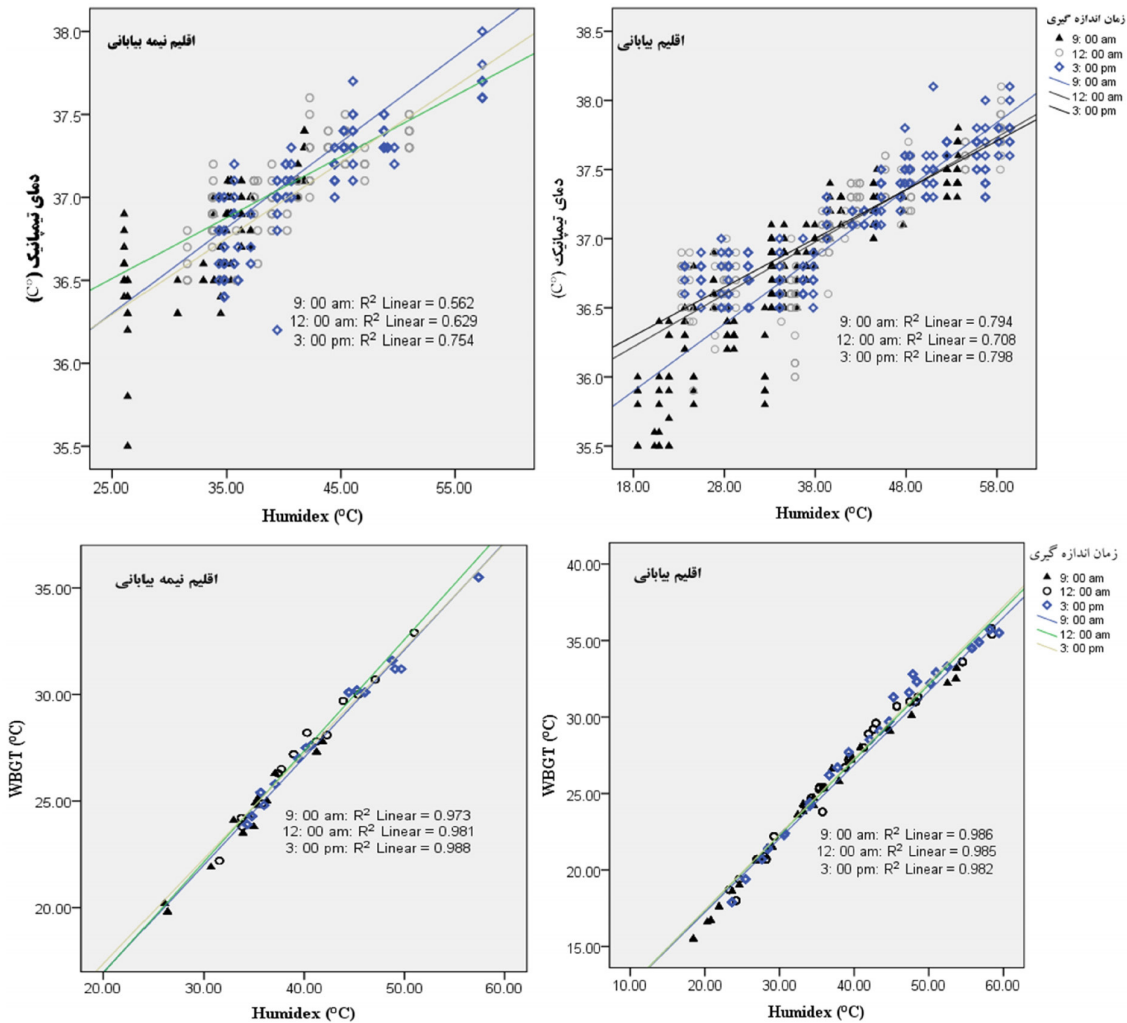
هم‌زمان با سنجش پارامترهای محیطی، تنها پارامتر فیزیولوژیک این مطالعه که دمای پرده صماخ بوده است، توسط یک دماسنج غیر تماسی گوش مدل Omron ساخت کشور چین با دقت ( $0/1^{\circ}\text{C}$ ) در گستره  $34-42/2^{\circ}\text{C}$  مورد سنجش قرار گرفت. کلیه اندازه‌گیری‌ها به طور قراردادی در گوش سمت راست انجام شد و تمام نکات مورد توجه در اندازه‌گیری صحیح دمای پرده صماخ، همچون تخلیه موم گوش قبل از اندازه‌گیری، مستقیم نمودن مجرای گوش به کمک دست و نیز توجه به عدم استفاده فرد از گوشی حفاظتی در روز آزمایش مورد توجه قرار گرفت. در هر مورد اندازه‌گیری سه بار تکرار گردید و چنانچه تغییر قابل ملاحظه‌ای در نتایج اندازه‌گیری مشاهده نمی‌گردید، مقدار میانگین به عنوان دمای پرده صماخ ثبت می‌شد. کلیه اندازه‌گیری‌های پارامترهای محیطی و فیزیولوژیکی در دو نوبت بهار و تابستان انجام گردید. هدف از تکرار آزمایشات در دو فصل بهار و تابستان صرفاً تولید گستره دمایی و رطوبتی وسیع‌تر در این مطالعه به منظور بررسی کاربرد پذیری نتایج در طیف وسیع‌تری از شرایط آب و هوایی بوده است. همچنین با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده

جدول ۲. گستره پارامترهای اندازه‌گیری شده و شاخص‌های محاسبه شده

کل (n=978)	ناحیه اقلیمی				پارامتر
	نواحی نیمه بیابانی (n=342)		نواحی بیابانی (n=636)		
	M±SD	Range	M±SD	Range	
۳۳/۳۷±۵/۹۰	۳۳/۶۷±۵/۳۶	۲۴-۴۶	۳۳/۲۰±۶/۱۶	۱۷/۹-۴۱/۸	پارامترهای محیطی دمای هوا (°C)
۲۲/۸۸±۴/۴۹	۲۳/۱۵±۲/۷۳	۱۷/۱-۳۰/۴	۲۲/۷۴±۵/۱۹	۱۳/۲-۳۲/۵	دمای تر طبیعی (°C)
۳۷/۱۲±۶/۱۸	۳۶/۹۹±۵/۷۲	۲۶-۴۹/۳	۳۷/۲۰±۶/۴۱	۲۱/۲-۴۸/۶	دمای گوپسان (°C)
۴۴/۰۲±۱۳/۱۶	۴۲/۵۴±۱۰/۴۱	۲۰/۹-۷۱/۱	۴۴/۲۷±۱۴/۴۲	۲۳/۸-۸۰/۷	رطوبت نسبی (%)
۱۸/۷۶±۵/۲۵	۱۹/۰۳±۲/۷۳	۱۳/۶-۲۵/۸	۱۸/۶۱±۶/۲۰	۱۰/۴-۳۱	نقطه شبنم (°C)
۳۶/۹۹±۰/۴۴	۳۷/۰۰±۰/۳۳	۳۵/۵-۳۸	۳۶/۹۸±۰/۴۹	۳۵/۵-۳۸/۱	پارامتر فیزیولوژیک دمای تیمپانیک (°C)
۰/۸۰±۰/۱۸	۰/۸۴±۰/۱۷	۰/۶-۱/۳۳	۰/۷۸±۰/۱۷	۰/۴۵-۱/۴۲	پارامترهای فردی مقاومت عایقی لباس (Clo)
۳۱۰/۸۲±۵۰/۶۸	۳۱۸/۶۷±۴۰/۹۰	۲۲۰/۶-۴۱۰/۵	۳۰۳/۱۶±۵۳/۳۲	۲۰۰-۴۶۰	میزان متابولیسم (W)
۲۶/۸۳±۴/۶۲	۲۶/۹۴±۳/۳۶	۱۹/۸-۳۵/۵	۲۶/۷۶±۵/۱۸	۱۵/۵-۳۵/۸	شاخص‌های حرارتی WBGT (°C)
۳۹/۳۲±۹/۲۳	۳۹/۴۷±۶/۵۳	۲۶-۵۷/۳	۳۹/۲۴±۱۰/۴۰	۱۸/۴-۵۹/۴	Humidex (°C)

به منظور بررسی تاثیر دما و رطوبت در تغییرات هم‌بستگی بین شاخص‌ها نیز گستره‌های دمایی و رطوبتی بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده در این مطالعه تعریف گردید و هم‌بستگی شاخص‌ها در هر گستره دمایی و یا رطوبتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها در نمودارهای اشکال (۲ و ۳) به تفکیک نشان داده شده است. با توجه به مقدار ضریب توافق محاسبه شده شاخص‌های WBGT و Humidex از توافق تقریباً کاملی برخوردار می‌باشند ( $p < 0.001$ ; Kappavalues = 0/87)، به طوری که با در نظر گرفتن WBGT به عنوان شاخص استاندارد، حساسیت و ویژگی شاخص Humidex به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۹۰/۳ درصد به دست می‌آید. در عین حال در مورد توافق شاخص Humidex با دمای تیمپانیک مشخص گردید ضریب توافق بین آنها نسبتاً پایین ( $p < 0.001$ ; Kappa value = ۰,۲۲۶)،

شامل پارامترهای محیطی، فیزیولوژیک، فردی و شاخص‌های استرس حرارتی در دو ناحیه اقلیمی بیابانی و نیمه بیابانی در جدول ۲ آورده شده است. به منظور اعتبار سنجی شاخص Humidex در دو ناحیه اقلیمی بیابانی و نیمه بیابانی، مقادیر شاخص در ساعات مختلف روز از طریق ضریب هم‌بستگی بین آنها با شاخص WBGT مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین اعتبار شاخص در مقابل پاسخ دمای تیمپانیک نیز به طور مشابه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها در نمودارهای شکل ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج، همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، در کلیه موارد ضرایب هم‌بستگی متوسط تا بسیار خوبی حاصل شده است و بیش‌ترین ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌ها مربوط به ساعات میانی و پایانی شیفت کار (بین ساعت ۱۲ تا ۱۵) بوده است. از طرفی به طور کلی هم‌بستگی شاخص‌ها در نواحی بیابانی بیش‌تر از نواحی نیمه بیابانی معین گردید.



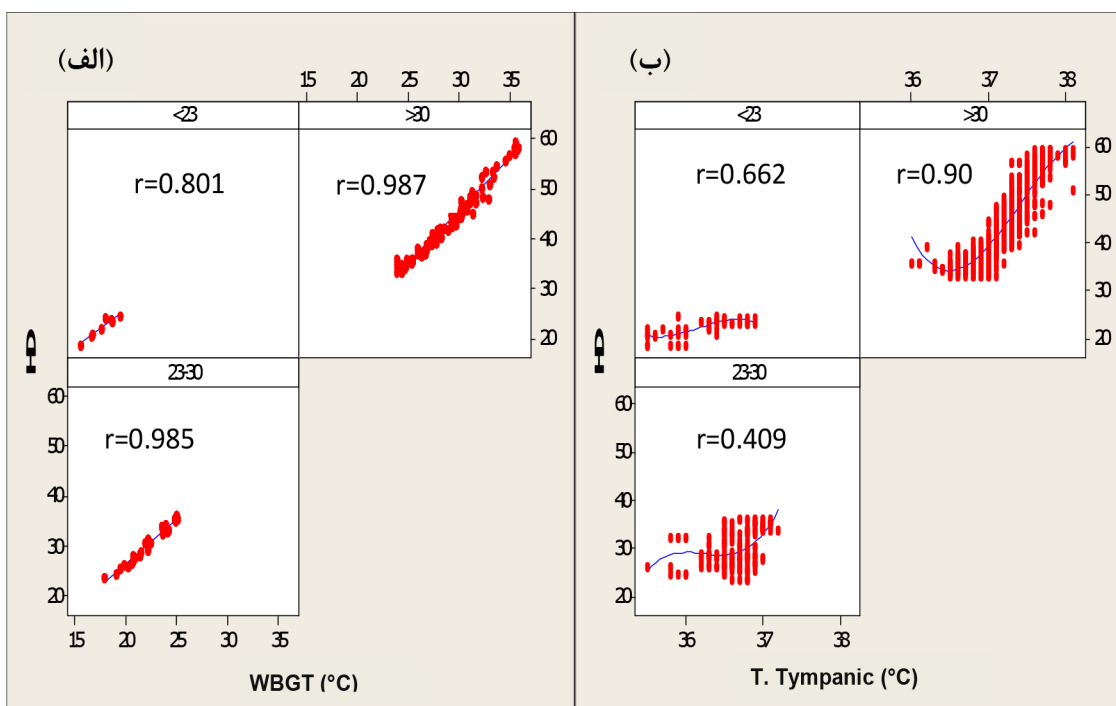
شکل ۱: بررسی هم‌بستگی شاخص Humidex با شاخص WBGT و پاسخ فیزیولوژیک دمای پرده سماخ در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی و در ساعات مختلف روز (ساعت ۹، ۱۲، و ۳ عصر)

و بهداشتی و اغلب سازماندهی و نظارت کم‌تر بر نیروی کار مشکلات و خطرات بهداشتی ناشی از گرما از اهمیت بیشتری برخوردار است (۲۲). به‌ویژه آن‌که وابستگی شرایط حرارتی محیط کار مستقیماً تحت تاثیر شرایط آب و هوایی منطقه، موقعیت جغرافیایی و فصل دارد. به‌عنوان مثال زاویه تابش و طول مدت ساعات آفتابی در قسمت‌های مرکزی کشور (قم و یزد در این پژوهش) متفاوت از سایر مناطق می‌باشد به‌طوری‌که هر چقدر از جنوب ایران به طرف شمال ایران حرکت نماییم،

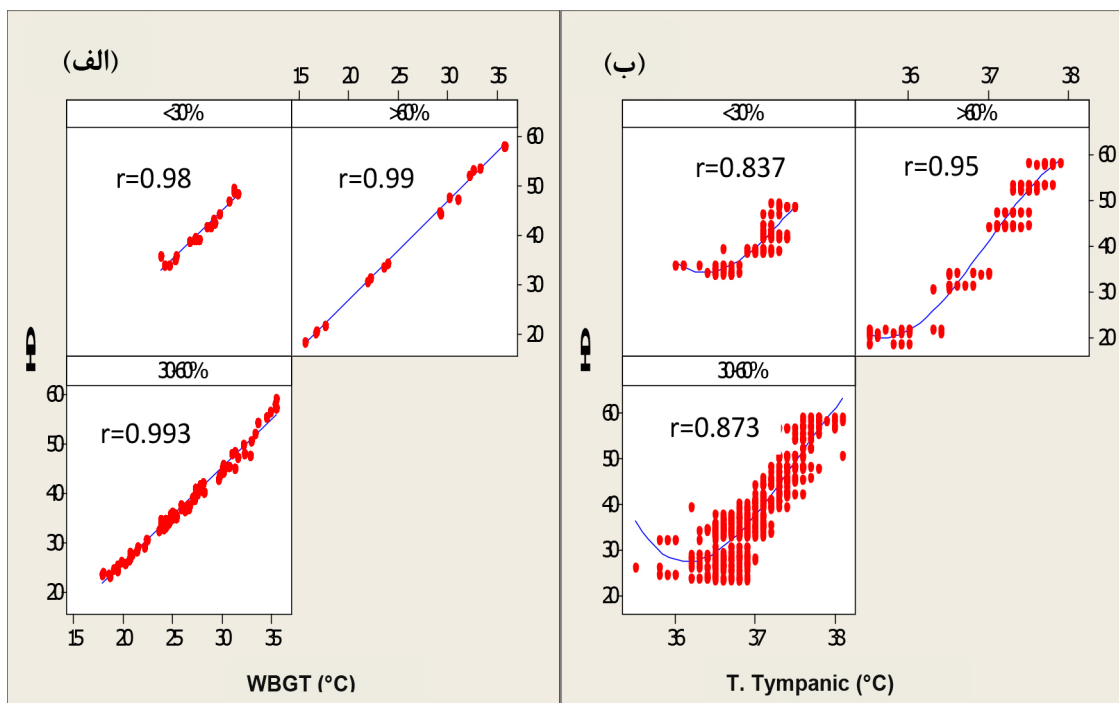
و حساسیت و ویژگی آن دو به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۶۱/۱ درصد می‌باشد. ضرایب توافق، حساسیت و ویژگی شاخص‌ها در دو اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی و در گستره‌های دمایی و رطوبتی مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است.

### بحث

در محیط‌های روباز و مشاغل وابسته به‌دلایلی همچون عدم امکان تامین سیستم‌های سرمایه‌ی مناسب، کمبود دسترسی به آب خنک



شکل ۲. مقایسه همبستگی بین شاخص‌های Humidex و WBGT (الف) و شاخص Humidex با دمای پرده صماخ (T.Tympanic) (ب) در سه گستره دمایی پایین، متوسط و بالا



شکل ۳. مقایسه همبستگی بین شاخص‌های Humidex و WBGT (الف) و شاخص Humidex با دمای پرده صماخ (T.Tympanic) (ب) در سه گستره رطوبتی پایین، متوسط و بالا



جدول ۳. بررسی درجه توافق شاخص‌های WBGT، Humidex و دمای تیمپانیک

کل	دما			رطوبت			اقلیم		مقایسه WBGT و Humidex
	۳۰ <	۲۳-۳۰	۲۳ >	٪۶۰ <	٪۳۰-۶۰	٪۳۰ >	نیمه بیابانی	بیابانی	
۰/۸۷۸	۰/۲۳			۱	۰/۸۲۹	۱	۰/۷۵۴	۰/۹۴۵	ضریب توافق*
۱۰۰	۱۰۰			۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	حساسیت
۹۰/۳	۸۲/۹			۱۰۰	۸۷/۹	۱۰۰	۸۱/۹	۹۵/۵	ویژگی
									مقایسه Humidex و دمای تیمپانیک
۰/۲۲۶	۰/۱۷۲			۰/۱۹۸	۰/۲۷۴		۰/۰۸۲	۰/۳۰۷	ضریب توافق*
۱۰۰	۱۰۰			۱۰۰	۱۰۰	۴۵/۱	۱۰۰	۱۰۰	حساسیت
۶۱/۱	۴۵			۴۴/۴	۶۵	۵۴/۹	۵۶/۱	۶۴/۱	ویژگی

\* Kappa value

در ساعات بین ۱۲ تا ۱۵ از شیفت کار، تقریباً همه مناطق مورد بررسی در ناحیه استرس قرار می‌گیرند و هیچ نقطه از مناطق مورد بررسی در ناحیه مطلوب و ایمن قرار نمی‌گیرد (۱). همچنین در مطالعه دیگر در کشور کره استرس‌های حرارتی توسط شاخص‌های مختلف در محیط‌های روباز مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن نشان داد اولاً تفاوت‌هایی در مقادیر مشخص شده توسط شاخص WBGT و مقادیر متناظر آن که توسط سنسورهای مربوطه در ایستگاه‌های سینوپتیکی به صورت اتوماتیک گزارش می‌شود، مشاهده می‌گردد و ثانیاً، شاخص WBGT در مقایسه با شاخص گرمایی برای ارزیابی استرس‌های گرمایی محیط‌های روباز از حساسیت بیشتری برخوردار است (۲۴). مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور انجام شده است که هر یک موید تفاوت‌های عملکردی شاخص‌های استرس گرمایی رایج در ارزیابی محیط‌های حرارتی می‌باشند (۳۲-۲۵). به‌طور مثال Becker و همکاران در سال ۲۰۰۳ نشان دادند در اقلیم‌های بیابانی و گرم تا بسیار گرم (مشابه با بسیاری از مناطق اقلیمی کشور ایران، جدول ۱) ارزیابی استرس‌های حرارتی بر اساس مدل‌های تعادل انرژی حرارتی برای شرایط یکنواخت مانند شاخص میانگین رای پیش بینی

زاویه تابش کمتر و مایل‌تر، ولی مدت تابش بیشتر می‌شود (۲۳). به همین خاطر در تابستان و اواخر بهار و یا اوایل فصل پائیز از نظر مدت زمان انرژی رسیده به سطح زمین، بیش‌ترین مقدار را می‌توانیم داشته باشیم. در این شرایط انرژی گرمایی بیش‌تری توسط بدن جذب می‌شود که می‌تواند باعث بالا رفتن میانگین دمای سطحی و عمقی بدن گردد.

یکی از اساسی‌ترین مراحل در ارزیابی ریسک مواجهه افراد با گرما، درک صحیح شرایط گرمایی و شناسایی خطر است که باید توسط شاخص‌های معتبر استرس گرمایی انجام گیرد. در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۳ در کشور ایران انجام شد با استفاده از شاخص استاندارد WBGT استرس‌های گرمایی در دو فصل بهار و تابستان در سطح کشور مورد ارزیابی قرار گرفت و بر اساس نقشه‌ها گرافیکی ارائه شده مشخص گردید شهرستان‌های اهواز، مشهد و رشت در فصل بهار در شرایط هشدار و شهرستان‌های یزد و بندرعباس در شرایط استرس قرار دارند که این وضعیت در ساعات ۱۲ و ۱۵ با گرم تر شدن شرایط محیط، محسوس تر است. سایر شهرستان‌ها در فصل بهار از وضعیت مطلوبی برخوردارند و در شرایط ایمن هستند. این شرایط در فصل تابستان بسیار تغییر می‌کند به‌طوری‌که

شده (PMV)، نمی‌تواند به‌طور موثری برای ارزیابی درک حرارتی افراد از شرایط حرارتی بسیار گرم مناسب باشد و تغییرات کوتاه مدت پارامترهای جوی را که مساله‌ای رایج در شرایط محیط‌های روباز می‌باشد، را در نظر نمی‌گیرد (۳۳).

در مطالعه حاضر که مطابق جدول ۲، گستره وسیعی از پارامترهای محیطی در دو ناحیه اقلیمی بیابانی و نیمه بیابانی کشور مدنظر قرار گرفته است، مشخص گردید هم‌بستگی دو شاخص WBGT و Humidex در ارزیابی استرس‌های حرارتی بسیار بالاست، به‌طوری‌که در کلیه ساعات اندازه‌گیری شیفت کار (ساعات ۹، ۱۲ و ۱۵) ضریب هم‌بستگی بالاتر از ۰/۹۸ حاصل گردید (شکل ۱). از طرفی هم‌بستگی نسبتاً مناسبی بین شاخص استرس گرمایی Humidex با پاسخ فیزیولوژیکی دمای تیمپانیک افراد مورد مطالعه در ساعات مختلف روز که نماینده شرایط آب و هوایی مختلفی نیز بودند، مشاهده گردید. البته همان‌طور که در نمودارهای شکل ۱ مشخص شده است، ضرایب هم‌بستگی بین دو متغیر در مناطق اقلیمی بیابانی بیش‌تر از مناطق نیمه بیابانی به‌دست آمد و با افزایش گرم شدن هوا در ساعات میانی و پایانی شیفت کار، این ضرایب نیز افزایش نشان داده اند. در مطالعه ای دیگر که بر روی کشاورزان شمال ایران با هدف ارزیابی استرس‌های حرارتی از طریق پایش بیولوژیکی و محیطی انجام شده بود نیز ضریب هم‌بستگی بین شاخص WBGT و دمای گوش ۰/۸۴ ( $p < 0/001$ ) تعیین گردید (۳۴). ضرایب هم‌بستگی بالا بین شاخص‌های محیطی و پاسخ فیزیولوژیکی دمای گوش باعث شده است که دمای گوش به‌عنوان جایگزین مناسبی برای دمای رکتال (که یک پاسخ فیزیولوژیکی معتبر در ارزیابی‌های استرس‌گرمایی

به‌شمار می‌رود) مورد توجه و استقبال قرار گیرد (۱۸-۱۷). به منظور کاربردپذیری شاخص Humidex در شرایط دمایی و رطوبتی مختلف در دو اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی، مقایسه‌هایی با شاخص WBGT و پاسخ فیزیولوژیکی دمای تیمپانیک انجام شد. نتایج این بخش که در نمودارهای شکل ۲ و ۳ به تفکیک آورده شده است نشان می‌دهد در کل گستره دمایی مورد مطالعه ارتباط بسیار خوبی بین شاخص WBGT و Humidex وجود دارد، اگرچه با افزایش درجه حرارت هوا، ضریب هم‌بستگی بین دو شاخص بیش‌تر می‌شود به‌طوری‌که در دماهای محیطی بالاتر از  $30^{\circ}\text{C}$ ، ضریب هم‌بستگی بین دو شاخص مقدار ۰/۹۸۷ به‌دست آمده است. در مورد ارتباط دو شاخص Humidex و دمای تیمپانیک اما نتایج حاکی از هم‌بستگی کم‌تر نسبت به مقایسه‌های قبلی بوده است، به‌طوری‌که در شرایط دمایی  $30^{\circ}\text{C}$ - $23^{\circ}\text{C}$ ، میزان ضریب هم‌بستگی متوسطی برابر با ۰/۴۰۹ تعیین گردید و بیش‌ترین میزان آن نیز مقدار  $r = 0/908$  بوده است که مربوط به شرایط محیطی با دمای بالاتر از  $30^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. فلاحی و همکاران نیز در مطالعه‌ای دیگر که در آن اعتبار سنجی شاخص‌های WBGT و P4SR توسط دمای عمقی بدن مدنظر بوده است، به این نتیجه دست یافتند که بیش‌ترین مقدار  $R^2$  تطبیق شده مربوط به پارامتر دمای پرده صماخ به‌عنوان دمای عمقی بدن و شاخص WBGT می‌باشد ( $R^2 = 0/57$ ،  $P < 0/05$ ) (۳۰). نتیجه مشابهی در مطالعه حاجی زاده و همکاران در شرایط محیطی بسیار گرم کوره‌های آجر پزی شهر قم حاصل گردید، به‌طوری‌که در این مطالعه دمای سرخرگ کاروتید بیش‌ترین ضریب هم‌بستگی را با شاخص WBGT نشان داد

عنوان یک محدودیت در مطالعات نشان داده شده است (۴-۵).

به طور کلی مطابق با جدول ۳ نتایج نشان می‌دهد، شاخص Humidex توافق کاملاً مناسبی با شاخص WBGT دارد به طوری که ضریب توافق کلی آن دو صرف نظر از نوع اقلیم و گستره دمایی و یا رطوبتی برابر با  $Kappa_{value} = 0.787$  می‌باشد و حساسیت ارزیابی با استفاده از دو شاخص برابر ۱۰۰٪ و ویژگی آنها برابر ۹۰/۳٪ می‌باشد. در عین حال اقلیم بیابانی نسبت به نیمه بیابانی از ضریب توافق و ویژگی بیش‌تری برخوردار است. اما بررسی توافق شاخص Humidex با دمای تیمپانیک نشان داد به طور کلی توافق قابل قبولی بین دو شاخص براساس ضریب Kappa مشاهده نمی‌شود ( $Kappa_{value} = 0.226$ ) و علیرغم حساسیت بسیار خوب برابر ۱۰۰٪، ویژگی این دو شاخص نسبت به زمانی که شاخص Humidex با WBGT مقایسه می‌شود، پایین‌تر است (ویژگی برابر ۶۱/۱٪). به این معنی که نمی‌توان با استفاده از شاخص Humidex به تنهایی برآورد واقع بینانه‌ای از استرس‌های فیزیولوژیک افراد در معرض گرما داشت. اما در این‌جا نیز به طور مشابه در شرایط بیابانی توافق دو شاخص بهتر از شرایط نیمه بیابانی بوده است. به نظر می‌رسد با توجه به این‌که در نواحی نیمه بیابانی (جدول ۱) شرایط دمایی هوا در اوایل فصل بهار خنک‌تر بوده است (دماهای پایین‌تر از  $23^{\circ}C$  در این مطالعه) و هنوز شرایط گرمایی بر منطقه حاکم نشده است و از سوی دیگر بخشی از این مطالعه در این زمان صورت گرفته است، می‌تواند باعث شده باشد که ارتباط شاخص‌ها در نواحی نیمه بیابانی کم‌تر از نواحی بیابانی شده باشد.

(۳۵). گلبابایی و همکاران نیز در مطالعه دیگر ضرایب هم‌بستگی متوسطی را بین استرس‌های فیزیولوژیکی و WBGT گزارش نمودند (۳۶).

مقایسه‌های مشابهی در گستره‌های رطوبتی مختلف بین شاخص‌ها انجام گرفت و نتایج نشان داد در اینجا نیز شاخص WBGT و Humidex در کلیه گستره‌های رطوبتی شامل رطوبت‌های کم ( $30\% <$ )، متوسط ( $30\% - 60\%$ )، و زیاد ( $60\% >$ )، از هم‌بستگی بالایی برخوردار است. در مورد هم‌بستگی شاخص Humidex با دمای تیمپانیک نیز نتایج مشابه و قابل قبولی حاصل شد ( $r > 0.83$ )، اگرچه ضرایب هم‌بستگی به دست آمده در این‌جا کم‌تر از هم‌بستگی به دست آمده بین دو شاخص Humidex و WBGT بود. Alfano و همکاران در مطالعه خود به منظور بررسی قابلیت اطمینان شاخص Humidex برای ارزیابی شرایط گرمایی مختلف نشان دادند تا دمای  $36^{\circ}C$ ، شاخص Humidex نسبت به WBGT محتاطانه‌تر عمل می‌کند و محدودیت بیش‌تری را نشان می‌دهد در حالی‌که در شرایط دمایی بالاتر از  $36^{\circ}C$ ، نتیجه عکسی حاصل می‌شود به طوری‌که شاخص WBGT نسبت به Humidex محدودیت بیش‌تری را نشان می‌دهد. به طور کلی در این مطالعه مشخص گردید Humidex در شرایط گرمایی متوسط ارزیابی بهتری در برآورد شرایط گرمایی محیط ارایه می‌کند (۸). با در نظر گرفتن گستره‌های دمایی، نتایج این مطالعه با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. یکی از دلایل ایجاد این رفتار دوگانه در شاخص Humidex می‌تواند این باشد که شاخص Humidex برای شرایط معتدل کانادایی ایجاد و معتبر شده است و از سوی دیگر دقت کم شاخص WBGT در شرایط گرمایی و رطوبتی بسیار بالا به

### نتیجه گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت شاخص Humidex صرف نظر از نوع اقلیم (بیابانی یا نیمه بیابانی) در گستره دمایی و رطوبتی مورد مطالعه به عنوان جایگزین مناسبی برای WBGT کاربرد دارد و با دمای تیمپانیک به عنوان یک پاسخ فیزیولوژیک در برابر گرما نیز هم‌خوانی دارد. اما چنانچه ارزیابی در دماهای پایین هوا یا شرایط دمایی به شدت گرم (بیشتر از  $30^{\circ}\text{C}$ ) به همراه رطوبت‌های بالا، مد نظر باشد (بیشتر از  $30^{\circ}\text{C}$ )، توجه به دمای تیمپانیک یا ارزیابی بر اساس سایر شاخص‌های معتبر، نتایج واقع بینانه تری از شرایط گرمایی ارائه خواهد نمود.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی و تجهیزاتی دانشگاه علوم پزشکی تهران و مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی دانشگاه علوم پزشکی قم انجام شده است و نویسندگان بر خود واجب می‌دانند نهایت تشکر و قدردانی را از حمایت‌های ارزشمند آنها و همچنین همکاری صمیمانه مدیریت، سرپرستان و کارگران محترم شرکت‌های راه آهن یزد، آسفالت شهرداری کرمان، کشتی سازی بندرعباس، سیمان شرق مشهد، سیمان اسپیندار قم، فولاد اهواز و معدن نرداگی قم در اجرای این پروژه بنمایند.

### REFERENCES

1. Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Forushani AR, Gaeini A, Parvari RA, et al. Outdoor occupational environments and heat stress in IRAN. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2015;13(1):48.
2. Amiri M, Eslamian S. Investigation of climate change in Iran. *J Environ Sci Technol*. 2010;3(4):208-16.
3. Ministry of Health and Medical Education, Environmental and occupational health center, third edition, 2012.
4. ISO-7243. Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). 1989.
5. Budd GM. Wet-bulb globe temperature (WBGT)—its history and its limitations. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2008;11(1):20-32.
6. Epstein Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial health*. 2006;44(3):388-98.
7. Masterton JM, Richardson FA (1979) HUMIDEX: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. *CLI 1-79*. 1-45, Environment Canada, Downsview Ontario.
8. Alfano FRdA, Palella BI, Riccio G. Thermal environment assessment reliability using temperature-humidity indices. *Industrial health*. 2011;49(1):95-106.
9. REHVA (2006) Indoor Climates and Productivity in Offices. Wargocki P and Seppänen O (Eds.), REHVAGuidebook n. 6, REHVA, Brussels.
10. Santee WR, Wallace RF (2005) Comparison of Weather Service Heat Indices Using a Thermal Model. *J Therm Biol* 30, 65-72.
11. Santee WR, Wallace RF (2005) Use of Humidex to set Thermal Work Limits for Emergency Workers in Protective Clothing. In:

- Proceedings of 11th International Conferences on Environmental Ergonomics, May 22–26, 511–3, Ystad, Sweden.
12. Conti S, Meli P, Minelli G, Solimini R, Toccaceli V, Vichi M, Beltrano MC, Perini L (2005) Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy. *Environm Res* 98, 390–9.
  13. Lavallo C, Barredo JI, De Roo A, Feyen L, Niemeyer S, Camia A, Hiederer R, Barbosa P (2006) Pan European assessment of weather driven natural risks. In: European Week of Region and Cities Open Day, Brussels 2006, October 9–12, European Commission – Directorate General Joint Research Centre, Brussels.
  14. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. OSH Answers. [http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys\\_agents/humidex.html](http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/humidex.html). Accessed May 12, 2010.
  15. International Organization for Standardization (ISO). Ergonomics — Evaluation of thermal strain by physiological measurements (Standard No. ISO 9886:2004). Geneva: ISO; 2004.
  16. Çultu Ö, Yildirim I, Ceyhan M, et al. Comparing body temperature measurements by mothers and physicians using mercury-in-glass, digital mercury and infrared tympanic membrane thermometers in healthy newborn babies. *Turk J Pediatr*. 2008;50:354-8.
  17. Eyalade OR, Orimadegun AE, Akinyemi OA, et al. Esophageal, tympanic, rectal, and skin temperatures in children undergoing surgery with general anesthesia. *J PeriAnesthesia Nursing* 2011;26:151-9.
  18. Lee J-Y, Nakao K, Takahashi N, et al. Validity of infrared tympanic temperature for the evaluation of heat strain while wearing impermeable protective clothing in hot environments. *Ind health*. 2011;49:714-25.
  19. Van Staaik BK, Rovers MM, Schilder AG, et al. Accuracy and feasibility of daily infrared tympanic membrane temperature measurements in the identification of fever in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2003;67:1091-7.
  20. International Organization for Standardization (ISO). Ergonomics of thermal environment- Determination of metabolic rate (Standard No. ISO 8996:2004). Geneva: ISO; 2004.
  21. International Organization for Standardization (ISO). Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble (Standard No. ISO 9920:2007). Geneva: ISO; 2007.
  22. Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Abbas RF, Abbasali G. Evaluation of Thermal Discomfort in Outdoor Environments: A Cross Sectional Study throughout IRAN. *Advances in Environmental Biology*. 2014;8(13):1008-15.
  23. Khalili Ali, Rezaei-e Sadr H. Estimation of global solar radiation over iran based on climatological data. *Jeographic research journal*. 1998;84:15-35.
  24. Kim Y, Oh I, Lee J, Kim J, Chung I-S, Lim H-J, et al. Evaluation of Heat Stress and Comparison of Heat Stress Indices in Outdoor Work. *Korean Journal of Environmental Health Sciences*.

- 2016;42(2):85-91.
25. Golmohammadi R HM, Zamanparvar A, Oliaei M, Aliabadi M, Mahdavi S. . Comparing the Heat Stress Index of HSI and WBGT in BakeryWorkplaces in Hamadan. Iran Occupational Health Journal. 2006;3(2):1-8.
  26. Hemmatju R GF, Monazzam Esmacilpour M, Nasir P, Hosseini M, Pouryaghub G R. Comparative investigation of SWREQ,WBGT & BI indices for estimation of heat stress in a petrochemical company in southian Pars Tehran: Tehran University of Medical Sciences; 2010.
  27. Moran D, Shapiro Y, Epstein Y, Matthew W, Pandolf K. A modifieddiscomfort index (MDI) as an alternative to the wet bulb globe temperature (WBGT). Environmental Ergonomics VIII, Hodgdon JA, Heaney JH, Buono MJ (Eds).1998; 77-80.
  28. Motamedzade M, Azari MR. Heat stress evaluation using environmental and biological monitoring. Pak J Biol Sci. 2006;9(3):457-9.
  29. Golbabaie F, Monazam M, Hemmatjou R, Nasiri P, Pouryaaghoub G, Hosseini H. Comparing the Heat Stress (DI, WBGT, SW) Indices and the MenPhysiological Parameters in Hot andHumid Environment. Iran J Health & Environ. 2012; 5(2): 245-252.
  30. Falahati M, Alimohammadi I, Farshad A, Zokaei M, Sardar A. Evaluating the validation of WBGT and P4SR by comparison to core body temperature. Iran Occupational Health. 2012;9(3).
  31. Moran DS, Pandolf KB, Shapiro Y, Heled Y, Shani Y, Mathew W, et al. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). Journal of Thermal Biology. 2001;26(4):427-31.
  32. Dehghan H, Mortazavi S, Jafari M, Maracy M. Combination of wet bulb globe temperature and heart rate in hot climatic conditions: The practical guidance for a better estimation of the heat strain. International Journal of Environmental Health Engineering. 2012;1(1):18.
  33. Becker S, Potchter O, Yaakov Y, editors. Thermal sensation in extremely hot and dry urban environments. Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Climate; 2003.
  34. Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Abbas RF, Abbasali G. Evaluation of Heat Stress among Farmers using Environmental and Biological monitoring: a study in North of Iran. International Journal of Occupational Hygiene. 2015;7(1):1-9.
  35. Hajizadeh R, Golbabaie F, Monazam Esmacilpour M. R., Beheshti M. H., Mehri A., Hosseini A., Khodaparast I, Assessing the heat stress of brick-manufacturing units' workers based on WBGT index in Qom city, Journal of Health and Safety at Work . 2015; 4(4): 9-20. (In Persian)
  36. Golbabaie F., Rostami Aghdam Shendi M., Monazzam M.R., Hosseini M.,Yazdani avval M., Investigation of heat stressbased on WBGT index and its relationship with physiological parameters among outdoor workers of Shabestar city, Journal of Health and Safety at Work . 2015; 5(2): 85-94.(In Persian)

## Validation of humidex in evaluating heat stress in the outdoor jobs in arid and semi-arid climates of Iran

*Hamid Reza Heidari<sup>1</sup>, Farideh Golbabaie<sup>2\*</sup>, Shahram Arsang Jang<sup>3</sup>, Ali Akbar Shamsipour<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, Research Center for Environmental Pollutants, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> M.Sc., Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Physical Geography, School of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

### Abstract

**Introduction:** Regarding development of several thermal indices and limitations of each, in this research applicability and validity of temperature- humidity index (Humidex) were examined against the standard heat index, Wet Bulb Globe Temperature -WBGT, as well as tympanic temperature of subjects.

**Material and Method:** This cross-sectional study was done on 163 subjects at spring and summer (2013) in outdoor jobs of arid and semi-arid climates of Iran. Environmental parameters as well as tympanic temperature of subjects were measured simultaneously and then heat indices were determined. Data were analyzed using linear correlation charts and Kappa coefficient of agreement by means of SPSS software version 20.

**Result:** A strong correlation was obtained between WBGT and Humidex in both arid and semi-arid regions ( $r > 0.98$ ), while the correlation between Humidex and tympanic temperature was moderate ( $r = 0.5-0.8$ ). Based on the obtained Kappa value, the agreement coefficient between Humidex and WBGT was 0.878. This value was obtained equal to 0.226 for the Humidex and tympanic temperature.

**Conclusion:** The results of this study showed that Humidex can be applied as an appropriate substitute for the WBGT index. However, if evaluation of environmental condition with low air temperature or very hot situation is considered, relying only on the Humidex results will not provide a realistic estimation of thermal strain imposed to individuals.

**Key words:** *Arid and Semi-Arid Regions, Heat Stress, Humidex, Outdoor Jobs, Validation, WBGT*

\* Corresponding Author Email: [fgolbabaie@sina.tums.ac.ir](mailto:fgolbabaie@sina.tums.ac.ir)