

اعتبار سنجی شاخص آنتالپی محیط در ارزیابی استرس های گرمایی با استفاده از شاخص WBGT و دمای عمقی بدن: مطالعه موردی در یک ناحیه گرم و خشک

حمیدرضا حیدری^۱ - هدی رحیمی فرد^۲ - ابولفضل محمدیگی^۲ - فریده گلبابایی^{۳*} - ربابه صحرانورد^۲ - زهرا شکری^۲

fgolbabaei@sina.tums.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۳۱

مکیده

مقدمه: با توجه به لزوم ارزیابی کارایی یک شاخص حرارتی جدید برای افراد و شرایط مختلف، هدف این مطالعه اعتبار سنجی شاخص جدید آنتالپی در ارزیابی استرس های حرارتی محیط های گرم و خشک می باشد.

روش کار: در این تحقیق که در یک منطقه گرم و خشک کشور انجام گرفت ۹۷ نفر از کارگران فضای سبز شهر قم به طور تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این مطالعه هم بستگی شاخص آنتالپی و شاخص دمای تر گویسان (WBGT) و نیز هم بستگی هر یک با پاسخ فیزیولوژیکی دمای عمقی بدن مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت.

یافته ها: نتایج نشان داد صرف نظر از زمان اندازه گیری شاخص ها، هم بستگی شاخص آنتالپی با شاخص WBGT بهتر از هم بستگی آن با پارامتر دمای عمقی گوش بوده است ($R^2=0/756$ در برابر $R^2=0/391$). با لحاظ کردن زمان اندازه گیری، مشخص گردید که با افزایش دما و کاهش رطوبت، میزان هم بستگی شاخص ها کاهش می یابد، اگرچه نسبت هم بستگی بیش تر بین دو شاخص آنتالپی و WBGT نسبت به آنتالپی و دمای عمقی گوش در این حالت نیز حفظ شده است.

نتیجه گیری: با توجه به سادگی اندازه گیری شاخص آنتالپی، عدم وابستگی آن به سنجش دمای گویسان و امکان برآورد آن با استفاده از پارامتر های هواشناسی و از سوی دیگر اعتبار مناسب شاخص آنتالپی در مقابل شاخص WBGT و دمای عمقی گوش، می توان شاخص آنتالپی را به عنوان جایگزین مناسبی برای شاخص WBGT و نیز یک شاخص غربال گری محیط های حرارتی روباز در محیط های گرم و خشک مورد توجه قرار داد.

کلمات کلیدی: آنتالپی، استرس حرارتی، اعتبارسنجی، دمای عمقی گوش

۱- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات آینده های محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

۲- پژوهشگر و متخصص بهداشت حرفه ای، مرکز آینده های محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

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

۴- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

مقدمه

استرس های حرارتی در محیط های کار به ویژه محیط های روباز موضوعی است که کارگران بسیاری را در فصول گرم سال در معرض خطرات گسترده ای قرار می دهد (۱). کارگران مشاغل روباز هم چون کارگران آسفالت، شهرداری، راه آهن، معادن روباز، کشاورزان و غیره که عموماً کارهای سخت و طاقت فرسایی را نیز به عهده دارند، اغلب با حداقل امکانات و تسهیلات بهداشتی، رفاهی و کنترلی با گرما مواجه هستند (۲). علاوه بر امکان وجود منابع گرما زا در چنین مشاغلی هم چون فرآیند های جوش کاری، منبع اصلی مواجهه با گرما ناشی از گرمای طبیعی خورشید و شرایط جوی منطقه می باشد (۳). ماهیت چنین مشاغلی نیز ایجاب می کند که اغلب کارگران ایستگاه های ثابتی نداشته باشند و بنابراین تامین و به کارگیری سیستم های فنی و مهندسی کنترلی گرما و حتی استقرار نظامند اصول مدیریتی در این خصوص نیز اغلب غیر ممکن و یا بسیار دشوار تلقی می گردد. به طوری که گاهی حتی ساده ترین امکانات رفاهی که همانا تامین آب آشامیدنی بهداشتی و خنک و یا سایبان است به طور مناسب و کافی تامین نمی گردد. بنابراین بسیاری از معادلات گرمایی بدن جهت رسیدن به تعادل گرمایی برهم ریخته و با افزایش دمای عمقی بدن، فرد را با استرس گرمایی مواجه می کند (۴).

از سوی دیگر گرمایش جهانی کره زمین ناشی از افزایش گازهای گل خانه ای که کشور ایران نیز از آن مستثنی نمی باشد، باعث شده است موج های گرمایی به ویژه در فصول گرم سال افراد بسیاری را در معرض خطر گرمزدگی و سایر عوارض ناشی از گرما قرار دهد. این افراد نه تنها شامل کارگران

مشاغل روباز می شوند بلکه به طور کلی همه افراد جامعه به ویژه سالمندان و کودکان را که جزء افراد آسیب پذیر اجتماع در برابر گرما می باشند در معرض خطر قرار می دهد. نظامیان و ورزشکاران نیز جزء گروه های با ریسک بالا در مواجهه با گرما می باشند (۲، ۵، ۶)

کثرت و تنوع گروه های در معرض خطر گرمایی از یک سو و ناکارآمدی بسیاری از شاخص های گرمایی موجود در تعیین میزان بار گرمایی وارده بر فرد از سوی دیگر باعث شده است که تلاش های بسیاری در جهت تعیین ریسک گرمایی افراد در معرض محیط های گرم صورت گیرد (۷). علیرغم توسعه شاخص های متعدد گرمایی ایجاد شده تا کنون (بیش از صد شاخص)، تعداد محدودی از آن ها به عنوان شاخص استاندارد پذیرفته شده اند که از جمله معروف ترین این شاخص ها شاخص دمای تر گویشان (WBGT) است که در سال ۱۹۵۷ توسط یاگلو و مینارد ارایه و در سال ۱۹۸۹ به عنوان استاندارد پذیرفته شد (۸). این شاخص که برای محیط های روباز و سرپوشیده روابط جداگانه ای را ارایه نموده است، بر اساس وزن دهی به سه پارامتر دمای هوا، دمای تر طبیعی و دمای گویشان محاسبه می شود. سادگی، اعتبار و سهولت کاربرد این شاخص باعث شده است به طور وسیعی در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گیرد (۹). در ایران نیز این شاخص اغلب به عنوان وسیله سنجش و ارزیابی حرارتی محیط های مختلف و مبنایی معتبر برای مقایسه پاسخ سایر شاخص ها واقع شده است.

علیرغم محبوبیت، مقبولیت و سایر مزایای ذکر شده برای این شاخص، محدودیت هایی هم چون زمان نسبتاً طولانی لازم برای تثبیت دمایی سنسور های دمای گویشان و تر در این شاخص،

دقت پایین آن در سرعت جریان های کم هوا و یا رطوبت های بسیار بالا، نیاز به برآورد متابولیسم و مقاومت عایقی لباس (که هر یک می تواند خطایی را به همراه داشته باشد) باعث شده است که کاربرد این شاخص در بسیاری از شرایط نیز بحث برانگیز باشد (۹).

از سوی دیگر امکان سنجش شرایط حرارتی محیط با استفاده از پارامتر های جوی که به صورت روزانه توسط ایستگاه های هواشناسی در اکثر شهرستان های کشور اندازه گیری و ثبت می شود، می تواند به عنوان مزیت یک شاخص شناخته شود که متاسفانه با توجه به عدم اندازه گیری دمای گویسان توسط ایستگاه های هواشناسی، امکان گزارش شرایط استرس گرمایی بر اساس شاخص های WBGT امکان پذیر نمی باشد. سایر شاخص های گرمایی نیز به دلیل مشکلات و محدودیت های مشابه و یا تجهیزات بسیار و محاسبات پیچیده هم چون شاخص استرس گرمایی پیش بینی شده (PHS)، کاربرد چندانی تا کنون (حداقل در کشور ایران) نیافته اند (۷).

از این رو در سال های اخیر تلاش های بسیاری توسط محققین حوزه گرما صورت گرفته است تا بتوانند شاخص و یا شاخص هایی را معرفی نمایند که با اندازه گیری حداقل پارامتر های تاثیر گذار در استرس های حرارتی و از همه مهم تر با استفاده از داده های هواشناسی، برآورد واقع بینانه ای از شرایط گرمایی محیط های مختلف ارائه نمایند. در این راستا توسعه شاخص استرس محیطی (ESI) که بر اساس سه پارامتر رطوبت هوا، دمای هوا و انرژی خورشیدی محاسبه می گردد (۱۰) و نیز برآورد WBGT بر اساس یک مدل فیزیکی و با استفاده از پارامتر های هواشناسی نمونه هایی از این تلاش ها

می باشد (۱۱). حیدری و همکاران نیز اخیرا تعیین میزان آنتالپی هوا را به عنوان مبنایی برای ارزیابی شدت استرس های حرارتی در محیط های روباز مورد توجه قرار دادند (۱۲). این شاخص که نتیجه مطالعه گسترده ای در اقلیم های مختلف کشور (۱۴۵۲ شرایط حرارتی مختلف) می باشد، با ارایه نقطه مرزی $74/24 \text{ KJ.Kg}^{-1}$ ، دو حد ایمن و خطر را برای این شاخص معرفی نموده است. آنتالپی که بیان گر میزان انرژی گرمایی در واحد جرم هوای خشک می باشد، یکی از پارامتر های جوی است که با استفاده از دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)، رطوبت هوا (%) و فشار بارومتریک (mm.Hg) و از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$h = 1.006 \times t + \frac{RH}{P_B} \times 10^{\left(\frac{7.5 \times t}{237.3 + t}\right)} \times (71.28 + 0.052 \times t)$$

آنتالپی به طور غیر مستقیم و با استفاده از سایر پارامتر های جوی اساسی روزانه توسط داده های ثبت شده در ایستگاه های هواشناسی محاسبه و همراه سایر پارامتر های جوی گزارش می شود. از سوی دیگر با توجه به این که دمای هوا و رطوبت نسبی دو پارامتر محیطی اساسی در تعیین استرس های حرارتی محسوب می شوند و هر دوی این پارامتر ها در آنتالپی نهفته است، انتظار می رود استفاده از این شاخص بتواند کمک شایانی در تعیین شرایط حرارتی مناطق مختلف و اطلاع رسانی آن به عموم افراد به ویژه افراد در معرض گرما و افراد آسیب پذیر توسط سازمان هواشناسی بکند. اما از آن جا که به کارگیری هر شاخص در محیط های مختلف ممکن است همراه با خطاها و محدودیت هایی نیز باشد، قبل از استفاده برای هر شرایط محیطی و اقلیمی نیاز است که اعتبار

این شاخص مورد سنجش واقع شود. از این رو در این مطالعه که به صورت موردی در یکی از مناطق اقلیمی گرم و خشک کشور انجام شده است، اعتبار شاخص آنتالپی و حدود تعریف شده آن در مقابل شاخص WBGT و دمای عمقی بدن که به ترتیب به عنوان شاخص های استرس و استرین گرمایی معتبر محسوب می شود، مورد آزمون واقع گردیده است.

روش کار

انتخاب افراد نمونه

در این تحقیق که از نوع توصیفی و تحلیلی می باشد، کارگران فضای سبز شهر قم به طور تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به نتایج مطالعه نگهبان و همکاران (۱۳) و با در نظر گرفتن مقدار هم بستگی بین بازیابی ضربان قلب و WBGT ($r=0/22$) و با در نظر گرفتن خطای نوع اول و دوم به ترتیب برابر با ۰/۰۱ و ۰/۱ حداقل حجم نمونه لازم برای مطالعه برابر با ۹۷ نفر تعیین گردید. شرط ورود افراد به مطالعه داشتن سلامت جسمی و حداقل سابقه یک سال در شغل مورد نظر و نداشتن هر گونه بیماری از جمله فشار خون و ناراحتی قلبی، تب و غیره و عدم استفاده از گوشی حفاظتی حین کار بود (به دلیل تاثیر احتمالی آن بر دمای پرده صماخ). هم چنین قبل از هر اندازه گیری توسط اتوسکوپ مجرای گوش افراد بازدید می گردید و چنان چه در گوش فرد واکس فراوان دیده می شد و یا مجرای گوش دارای انحرافات بود، آن فرد از مطالعه حذف می گردید.

سنجش پارامترهای محیطی و شاخص های حرارتی برای این منظور پس از هماهنگی های لازم و تعیین محل کار کارگران مشخص شده، در روز

اندازه گیری تیم پژوهش در محل حاضر شدند و پس از آموزش های اولیه به کارگران و روشن نمودن اهداف پژوهش، رضایت افراد برای ورود به مطالعه جلب گردید و به ایشان این اطمینان داده شد که اطلاعات آن ها به صورت محرمانه نزد پژوهش گر محفوظ خواهد ماند. در این مطالعه برای سنجش شاخص دمای تر گويسان (WBGT) از دستگاه WBGT سنج دیجیتال و پیشرفته مدل Micro-therm Cassella ساخت کشور انگلستان استفاده گردید. پارامترهای محیطی مورد نیاز محاسبه این شاخص شامل دمای خشک (a)، دمای تر طبیعی (t_{nw})، دمای گويسان (g)، به طور هم زمان توسط این دستگاه ارایه شد. رطوبت نسبی و فشار بارومتريک نیز که برای محاسبه آنتالپی محیط مورد نیاز بودند توسط رطوبت سنج و فشارسنج دیجیتال مدل ۳۱۸ Lotron - PHB ساخت کشور تایوان اندازه گیری گردید. سپس با استفاده از رابطه (۱)، آنتالپی هوا محاسبه و ثبت گردید. با توجه به مجاورت و همسانی فعالیت گروه های مختلف شرکت کننده در مطالعه در روزهای مختلف بررسی و عدم تاثیر در نتایج اندازه گیری در فواصل مختلف مکانی، پارامترهای محیطی اندازه گیری شده در هر زمان برای تعداد کارگرانی که در مجاورت ایستگاه اندازه گیری مشغول به فعالیت بودند تعمیم داده شد. از این رو ۶ پست کاری یا ایستگاه اندازه گیری در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت و در هر ایستگاه در فواصل سه ساعته (۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۳ عصر) کلیه پارامترهای محیطی ۳ بار و در مجموع ۱۸ بار اندازه گیری شدند. داده های به دست آمده در این اندازه گیری ها برای کلیه کارگرانی که در آن ایستگاه مشغول به کار بودند لحاظ گردید.

با توجه به تصحیحات مورد نیاز شاخص WBGT

آمار مرکزی و پراکندگی و نیز آزمون های T مستقل، ANOVA ضریب هم بستگی اسپیرمن و رگرسیون خطی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سطح معنی داری آزمون های به کار گرفته کم تر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

بر اساس عایق حرارتی لباس و میزان متابولیسم، علاوه بر اندازه گیری پارامتر های محیطی مذکور، پارامتر های فردی مثل لباس و متابولیسم نیز بر اساس مشخصات پوشش افراد و نوع فعالیت آن ها، به ترتیب توسط استانداردهای ISO-9920 و ISO-8996 برآورد گردید (۱۴، ۱۵).

یافته ها

بر اساس نتایج جدول (۱)، میانگین قد، وزن، شاخص توده بدن و سطح بدن افراد در حدود نرمال قرار می گیرد. هم چنین میانگین و انحراف استاندارد بار کاری (متابولیسم) افراد در طول شیفت کار برابر $108/84 \text{ W}$ ± 53 برآورد گردید که نشان دهنده میزان متوسط متابولیسم می باشد. از سوی دیگر میانگین و انحراف استاندارد مقاومت عایقی لباس برابر $0/79 \pm 0/12$ کلو برآورد گردید که نشان دهنده بی نیازی به تصحیح لباس در محاسبه شاخص WBGT می باشد. به عبارتی WBGT برابر با مقدار $WBGT_{efc}$ (میزان WBGT به علاوه مقدار اصلاحی که به علت مقاومت عایقی لباس ایجاد می شود) است.

جدول (۲)، مقادیر پارامتر های محیطی، فیزیولوژیکی و شاخص های استرس حرارتی اندازه گیری شده در مطالعه را در سه بازه زمانی

سنجش دمای تیمپانیک

هم زمان با اندازه گیری پارامتر های محیطی و شاخص های حرارتی، پارامتر فیزیولوژیکی دمای تیمپانیک گوش افراد نیز توسط دماسنج مدل 510-Omron ساخت کشور چین اندازه گیری و ثبت گردید. برای این منظور سنسور دماسنج در مجرای گوش (به طور قراردادی گوش راست افراد) قرار داده شد و پس از گذشت زمان لازم برای تثبیت دمایی دماسنج، مقدار دمای پرده صماخ ثبت گردید. اندازه گیری ها سه بار و هر بار با فاصله یک دقیقه ای انجام شد و میانگین اندازه گیری ها به عنوان دمای پرده صماخ ثبت گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

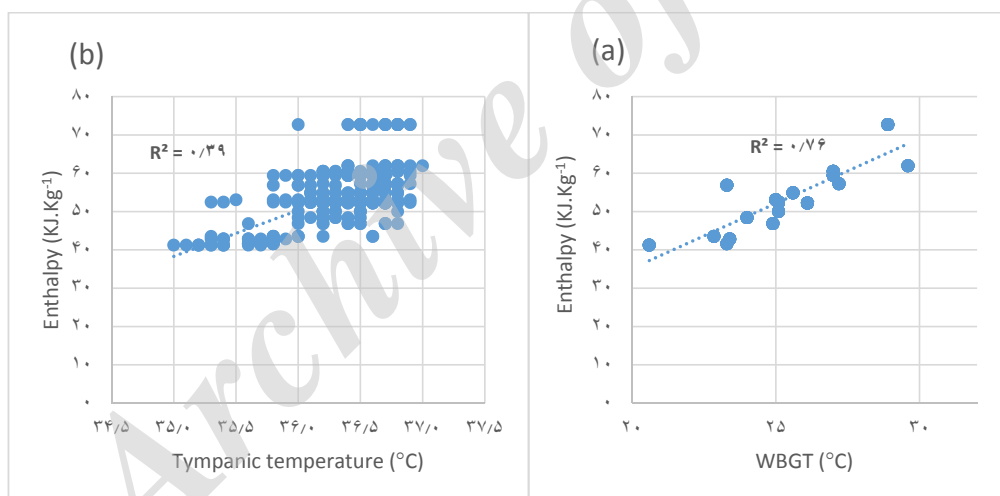
داده های اندازه گیری شده در نهایت توسط نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۰ توسط شاخص های

جدول ۱. مشخصات دموگرافیک افراد مورد مطالعه (n=۹۷)

آمار توصیفی				
متغیر	Min	Max	Mean	SD
سن (سال)	۲۰	۶۲	۴۱/۱۱	۹/۵۹
وزن (Kg)	۴۵	۱۰۴	۷۵/۵۰	۱۲/۲۷
قد (cm)	۱۵۰	۱۹۰	۱۷۲/۳۷	۷/۳۴
شاخص توده بدن	۱۵/۶۷	۳۵/۹۹	۲۵/۳۴	۳/۷۸
سطح بدن (m^2)	۱/۵۷	۲/۲۴	۱/۸۸	۰/۱۶
متابولیسم (W)	۱۲۲/۱۱	۵۴۳/۳۰	۲۸۸/۵۳	۱۰۸/۸۴
مقاومت عایقی لباس (clo)	۰/۴۱	۱/۱۰	۰/۷۹	۰/۱۲

جدول ۲. مقادیر پارامترهای محیطی، فیزیولوژیکی و شاخصهای استرس حرارتی اندازه گیری شده در مطالعه

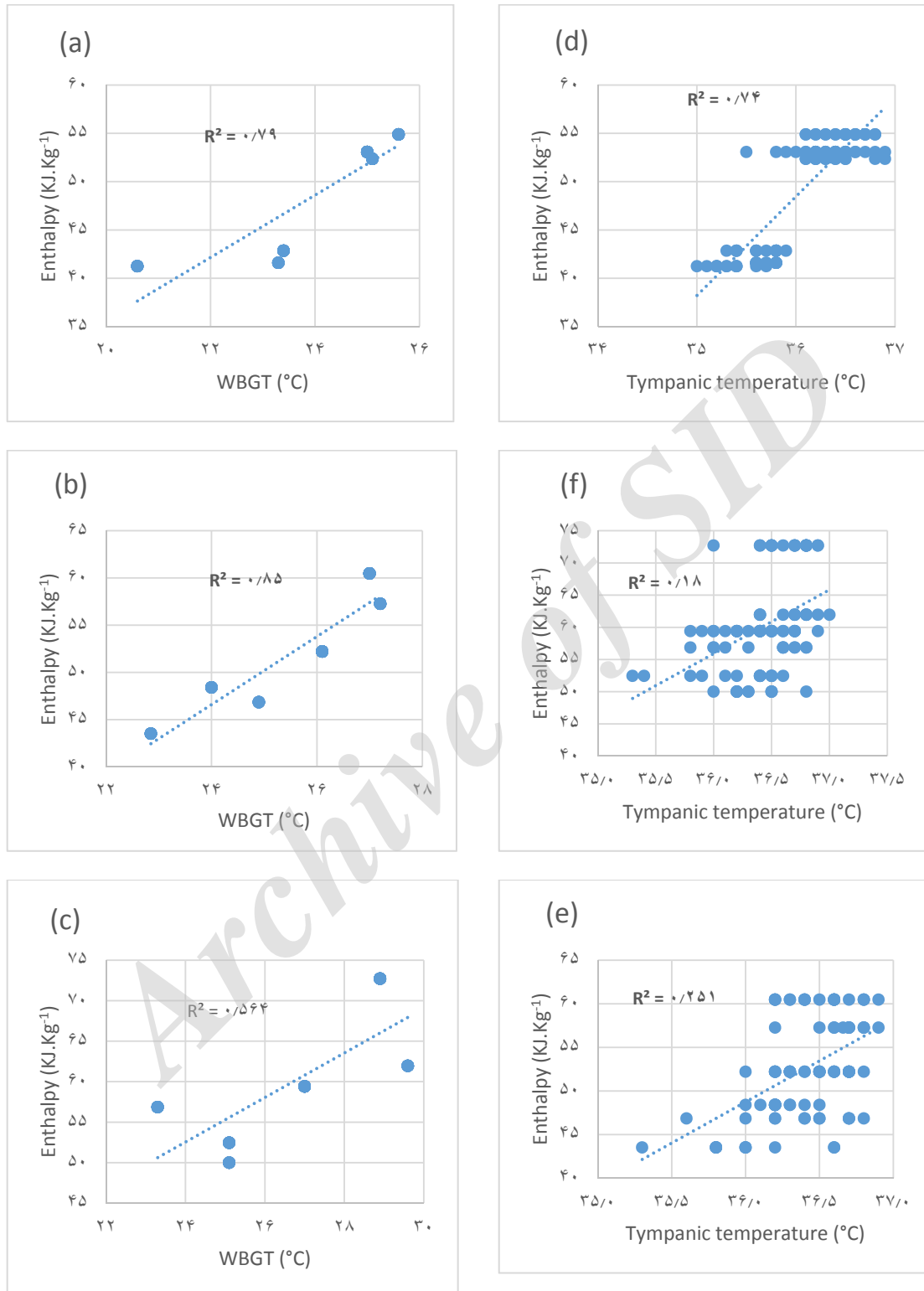
متغیر	زمان اندازه گیری											
	۱۵ عصر (n=۶)				۱۲ ظهر (n=۶)				۹ صبح (n=۶)			
	SD	Mean	Max	Min	SD	Mean	Max	Min	SD	Mean	Max	Min
پارامترهای محیطی												
دمای هوا (°C)	۲/۰۷	۳۶/۶۹	۳۹	۳۳	۱/۲۸	۳۲/۳۱	۳۴	۳۰	۲/۵۷	۲۹/۶۴	۳۳	۲۶
دمای تر طبیعی (°C)	۲/۰۳	۱۹/۲۰	۲۲	۱۶	۲/۰۱	۱۸/۸۸	۲۱	۱۵	۱/۹۴	۱۸/۰۲	۲۰	۱۴
دمای گوی سان (°C)	۳/۷۴	۴۸/۶۵	۵۶	۴۲	۱/۹۵	۴۶/۰۱	۴۹	۴۴	۱/۶۶	۴۳/۱۸	۴۷	۴۱
فشار هوا (mm.Hg)	۳/۳۵	۶۷۶/۳۴	۶۸۱/۶	۶۷۱/۷	۳/۷۳	۶۷۷/۷۴	۶۸۳/۰	۶۷۲/۸	۳/۶۹	۶۷۸/۶۸	۶۸۳/۸	۶۷۳/۱
رطوبت نسبی (%)	۹/۱۶	۲۱/۹۸	۳۸	۱۰	۴/۹۳	۲۳/۳۵	۳۱	۱۵	۴/۲۵	۲۶/۵۳	۳۳	۲۳
نقطه شبنم (°C)	۳/۹۲	۸/۰۹	۱۳/۹	۲/۷	۲/۹۸	۸/۳۹	۱۲/۴	۲/۸	۲/۶۸	۷/۸۱	۱۰/۹	۳/۱
سرعت جریان هوا (m.s ⁻¹)	۲/۰۷	۲/۷۳	۵/۶۰	۰/۱۳	۰/۴۹	۱/۳۳	۱/۸۰	۰/۲۲	۱/۱۹	۱/۶۷	۳/۳	۰/۴
شاخص های حرارتی												
WBGT (°C)	۲/۰۴	۲۶/۸۳	۲۹/۶	۲۳/۳	۱/۴۴	۲۵/۶۵	۲۷/۲	۲۲/۹	۱/۵۶	۲۴/۲۵	۲۵/۶	۲۰/۶
شاخص آنتالپی (KJ.Kg ⁻¹)	۷/۴۹	۶۰/۳۵	۷۲/۷۲	۵۰/۰۱	۵/۶۵	۵۲/۵۵	۶۰/۴۸	۴۳/۵۳	۵/۶۸	۴۹/۳۰	۵۴/۸۹	۴۱/۲۴
پارامتر فیزیولوژیکی												
دمای پرده صماخ (°C)	۰/۷۶	۳۵/۸۸	۳۶/۹	۳۵/۴	۰/۴۴	۳۵/۸۰	۳۶/۷	۳۵/۱	۰/۳۴	۳۵/۵۹	۳۶/۸	۳۵/۱



شکل ۱. هم بستگی شاخص آنتالپی و WBGT (a) و شاخص آنتالپی با دمای عمقی گوش (b)

ابتدا، میانه و انتهای شیفیت کار نشان می دهد. مطابق با نتایج به دست آمده، گستره دمایی مورد مطالعه برابر حداقل (°C) ۲۶ مربوط به دمای هوا در ساعت اولیه صبح (بین ۸ تا ۱۰) و حداکثر (°C) ۳۹ مربوط به دمای هوا در ساعت انتهایی شیفیت کار (بین ۱۳ تا ۱۵) بوده است. هم چنین

حداقل و حداکثر دمای تابشی به ترتیب (°C) ۴۱ و (°C) ۵۶ به دست آمد. حداقل میزان رطوبت برابر ۱۰% و حداکثر آن برابر ۳۸% تعیین گردید که هر دو مقدار مربوط به ساعات پایانی شیفیت کار بود. سایر پارامترهای محیطی نیز به تفکیک زمان اندازه گیری در جدول (۲) آورده شده است.



شکل ۲. هم بستگی شاخص آنتالپی و WBGT در زمان های ابتدا، میانه و انتهای شیفت کار (به ترتیب a، b و c) و هم بستگی شاخص آنتالپی و دمای عمقی گوش در زمان های ابتدا، میانه و انتهای شیفت کار (به ترتیب d، e و f)

توجهی بالاتر از مقادیر متناظر به دست آمده بین دو شاخص آنتالپی و دمای گوش تعیین گردید. در این جا حداکثر هم بستگی در بین ساعات ۱۰-۱۲ ($R^2=0/846$) و حداقل آن در انتهای شیفت کار و بین ساعات ۱۳-۱۵ ($R^2=0/564$) تعیین گردید.

بحث

نتایج این مطالعه به طور کلی نشان می دهد شاخص آنتالپی با شاخص استاندارد حرارتی WBGT هم بستگی مناسبی را نشان می دهد و این میزان هم بستگی آن با WBGT به مراتب بیش تراز هم بستگی آن با دمای عمقی گوش است. بر اساس تغییرات پارامترهای جوی در طول روز نیز مشاهده می گردد که هم بستگی شاخص آنتالپی و WBGT دچار تغییرات کم تری نسبت به زمانی است که هم بستگی آن با دمای عمقی گوش مورد بررسی قرار گرفته است (نمودارهای شکل ۱ و ۲). این نتیجه با نتیجه به دست آمده در خصوص شاخص محیطی Humidex با شاخص WBGT و دمای عقی گوش نیز هم خوانی دارد (۷).

بر اساس نمودارهای ارایه شده در شکل (۲) و جدول (۲)، با افزایش میانگین دمای هوا و کاهش میانگین رطوبت نسبی در طول شیفت کار، ضریب هم بستگی به دست آمده بین دمای تیمپانیک گوش و شاخص آنتالپی، به طور قابل توجهی کاهش یافته است؛ به طوری که مقدار آن از ۰/۷۳۶ در اوایل صبح به ۰/۲۵۱ در میانه روز و سرانجام به میزان ۰/۱۸۴ در پایان شیفت کار کاهش می یابد. در انتهای شیفت کار میانگین و انحراف استاندارد به دست آمده برای سه پارامتر دمای هوا، دمای تابشی و رطوبت نسبی به ترتیب

مقادیر توصیفی شاخص های استرس حرارتی WBGT و آنتالپی و نیز تنها پارامتر فیزیولوژیکی مورد اندازه گیری در این پژوهش (دمای عمقی گوش) نیز به تفکیک در جدول (۲) نشان داده شده است. حداقل مقدار شاخص های WBGT، آنتالپی و دمای گوش به ترتیب برابر $(^{\circ}\text{C}) 20/6$ ، Kj.Kg^{-1} 41/24 و $(^{\circ}\text{C}) 35/1$ و حداکثر آن برابر $(^{\circ}\text{C}) 29/6$ ، Kj.Kg^{-1} 72/72 و $(^{\circ}\text{C}) 36/9$ تعیین گردید.

به منظور تعیین اعتبار شاخص آنتالپی، هم بستگی آن با شاخص استاندارد WBGT و دمای عمقی گوش مورد سنجش واقع شد. این هم بستگی که در شکل (۱) نشان داده شده است صرف نظر از زمان اندازه گیری شاخص ها و به طور کلی بوده است. همان طور که در شکل نشان داده شده است، در این حالت هم بستگی شاخص آنتالپی با شاخص WBGT بهتر از هم بستگی آن با پارامتر دمای عمقی گوش بوده است ($R^2=0/756$) در برابر $(R^2=0/391)$.

به منظور تعیین میزان هم بستگی شاخص ها با توجه به نوسانات پارامترهای محیطی در طول شیفت کار و تعیین زمانی که بیش ترین هم بستگی بین شاخص ها دیده می شود، آزمون آماری مشابهی در فواصل زمانی در طول شیفت کار انجام شد که نتایج آن در شکل (۲) نشان داده شده است. بر این اساس بیش ترین میزان هم بستگی بین شاخص آنتالپی و دمای گوش در اوایل شیفت کار به دست آمد ($R^2=0/736$) و در ادامه با افزایش دمای هوا و گرمتر شدن شرایط جوی هم بستگی ضعیفی بین دو شاخص مشاهده گردید. هم چنین هم بستگی دو شاخص آنتالپی و WBGT در کلیه شرایط مورد مطالعه به طور قابل

برابر $(^{\circ}\text{C}) 2/07 \pm 36/69$ ، $3/74 \pm 48/65$ و $9/16 \pm 21/98$ تعیین شده است که نشان دهنده دمای تابشی بسیار بالا و رطوبت بسیار کم هوا می باشد که از ویژگی های شرایط اقلیمی نواحی گرم و خشک است. این نتیجه نشان می دهد که پاسخ دمای عمقی بدن در شرایط نرمال دمایی (اوایل شیفت کار) با آنتالپی محیط وابستگی بیش تری دارد ولی با افزایش دما و خشکی هوا، هم بستگی آن دو کاهش می یابد. شاخص WBGT نیز که به عنوان یک شاخص استاندارد مورد استفاده قرار می گیرد دارای محدودیت استفاده و احتمال افزایش خطا در شرایط با دماهای بسیار بالا می باشد (۹). یکی دیگر از دلایل عمده کاهش هم بستگی دو شاخص با افزایش شرایط دمایی محیط، فعال سازی سیستم های عصبی مغز برای مقابله با گرما هم چون افزایش تعریق است (۱۶). در این حالت تبخیر عرق که در شرایط اقلیمی گرم و خشک به خوبی و به شکل موثر صورت می گیرد، باعث می شود دمای عمقی بدن کنترل شود. هم چنین اقداماتی هم چون نوشیدن آب و خنک نمودن بدن با استفاده از وسایل ساده نظیر بادبزن های دستی در محیط های روباز می تواند در کنترل دمای عمقی بدن نقش داشته باشد. در این راستا خنک کردن بدن توسط خود فرد (Self-pacing) به عنوان یک رفتار حفاظتی در مطالعات متعددی مورد تایید قرار گرفته است که می تواند نقش مهمی را در کاهش استرین گرمایی وارد به فرد داشته باشد (۱۷-۱۹). از این رو در چنین شرایطی هم بستگی بین شاخص های محیطی و فیزیولوژیکی بدن کاهش خواهد یافت. این میزان هم بستگی به طور مشابهی بین دو شاخص WBGT و دمای عمقی گوش نیز متوسط ارزیابی شده است

$(R^2=0/447)$. در مطالعه دهقان و همکاران نیز هم بستگی به دست آمده بین دمای گوش و WBGT متوسط ارزیابی گردید $(R^2=0/67)$ (۲۰). حیدری و همکاران نیز در مطالعه ای دیگر نشان دادند در بسیاری از شرایط محیطی گرم که استرس های حرارتی بر اساس شاخص WBGT بسیار بالا بوده است، دمای تیمپانیک در گستره نرمال خود قرار داشته است که این نتیجه نیز موید نداشتن ارتباط خیلی بالا بین دو شاخص استرس حرارتی WBGT و دمای تیمپانیک در دماهای بالا می باشد (۲۱). Broade و همکاران (۲۰۱۳) در مقایسه شاخص WBGT با شاخص استرین گرمایی پیش بینی شده (PHS) که دو پارامتر عمده دمای عمقی و میزان تعریق را پیش بینی می کند، نشان دادند که شاخص WBGT حساس تر از PHS عمل می کند زیرا حدود مجاز شاخص WBGT بر این اساس تنظیم شده است که دمای عمقی رکتال حداکثر $(^{\circ}\text{C}) 38$ باشد در حالی که اساس تعیین حدود شاخص PHS بر میانگین دمای عمقی $(^{\circ}\text{C}) 38$ می باشد (۲۰). نتایج مشابهی در سایر مطالعات به دست آمده است (۲۳ و ۲۴).

یکی از تفاوت های اصلی شاخص آنتالپی و WBGT همان طور که از روابط و واحدهای آن ها برمی آید، در ماهیت آن ها است. در شاخص WBGT، همان طور که ذکر شد سه مولفه دمای هوا، دمای تر طبیعی و دمای تابشی لحاظ شده است و هر کدام سهم مشخصی دارند و در مجموع شاخص صرفا بر اساس ترکیب دما های مختلف و بر اساس درجه سانتی گراد گزارش می شود. اما شاخص آنتالپی با استفاده از سه پارامتر دمای هوا $(^{\circ}\text{C})$ ، رطوبت هوا (%) و فشار بارومتریک (mmHg) تعیین می گردد و حاصل که ماهیتی از نوع انرژی

و خشک به کار گرفته شود. مزیت استفاده از این شاخص بی نیازی آن به دمای گویسان است که باعث می شود بتوان از این شاخص با استفاده از داده های اندازه گیری شده سازمان های هواشناسی برای پیش بینی و اعلام به موقع وضعیت استرس های گرمایی در مناطق مختلف استفاده نمود. این امر خود کمک خواهد نمود تا در صورت اتخاذ اقدامات مدیریتی پیش گیرانه توسط سازمان ها و مراکز مربوطه، ریسک بروز شرایط استرس حرارتی و مشکلات و عوارض ناشی از آن در بین افراد در معرض کاهش یابد. بدیهی است هم چون WBGT از این شاخص نمی توان برای ارزیابی استرس های گرمایی افراد با دقت بالایی استفاده نمود و تنها به عنوان یک شاخص غربال گری مطرح خواهد بود. در شرایط وجود استرس های گرمایی، اندازه گیری پارامترهای فیزیولوژیکی و تعیین شاخص های استرس حرارتی در کنار ارزیابی های اولیه توسط شاخص های استرس حرارتی، قویا توصیه می گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی به شماره ۹۵۷۹۴ و با کد اخلاق ۱۳۹۶،۳ Ir.muq.rec مصوب مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی معاونت تحقیقات و فن آوری دانش گاه علوم پزشکی قم می باشد که بدین وسیله از حمایت های مادی و معنوی انجام شده کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید.

REFERENCES

1. Nassiri P, Monazzam M R, Golbabaie F, Shamsipour A, Arabalibeik H, Abbasinia M, et al . Personal risk factors during heat stress exposure in workplace. Journal of Health and Safety at Work. 2017; 7 (2): 163-180
2. Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Forushani

حرارتی محیطی دارد بر اساس کیلو ژول بر کیلو گرم وزن هوا گزارش می شود و در هوای محیطی که درصدی رطوبت نیز دارد برابر مجموع گرمای محسوس و نهان تبخیر می شود (۲۵). بنابراین تابش های موجود در هوا در مناطق مختلف از جمله مناطق گرم و خشک نیز باعث تغییر انرژی گرمایی هوا خواهد شد که در نتیجه در مقدار آنتالپی موثر خواهد بود. هم چنین امکان تعیین این شاخص با استفاده از داده های هواشناسی باعث می شود بتواند به عنوان یک شاخص غربال گری در تعیین استرس های حرارتی و شرایط ایمن و خطر محیط کار مورد استفاده قرار گیرد. چنین قابلیت با استفاده از شاخص WBGT به دلیل وابستگی آن به دمای گویسان و از سویی عدم اندازه گیری آن توسط سازمان هواشناسی میسر نمی باشد. پیش از این نیز شاخص های حرارتی بسیاری هم چون Humidex, Discomfort index و غیره ارایه شده اند که در آن ها نیز دمای تابشی لحاظ نشده است اما ارتباط مناسب و قابل قبولی را با شاخص WBGT نشان داده اند (۷).

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می دهد شاخص آنتالپی نیز همانند شاخص WBGT می تواند به عنوان یک شاخص حرارتی محیطی در محیط های روباز گرم

- AR, Gaeini A. Outdoor occupational environments and heat stress in IRAN. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2015;13(1):1.
3. Habibi E, Dehghan H, Yazdanirad S, Lotfi S, Hassanzadeh A, The Impact Of Heat On The Accuracy And Pace Of Working By Tests Of Job Skill Assessment, International Journal Of

- Occupational Hygiene. 2017; 9 (2): 99-104.
4. Heidari H, Golbabaee F, Shamsipour A, Rahimi-Forushani A, Gaeini A. 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.
 5. Grambsch A, Hemming BL, Weaver CP. Assessment of the impacts of global change on regional US air quality: A synthesis of climate change impacts on ground-level ozone. 2009.
 6. Peiffer JJ, Abbiss CR. Thermal stress in North Western Australian iron ore mining staff. *Annals of occupational hygiene*. 2013;57(4):519-27.
 7. Heidari HR, Golbabaee F, Arsang Jang S, Shamsipour AA. Validation of humidex in evaluating heat stress in the outdoor jobs in arid and semi-arid climates of Iran. *Journal of Health and Safety at Work*. 2016;6(3):29-42.
 8. ISO-7243. Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT- index. 1989.
 9. Budd GM. Wet-bulb globe temperature (WBGT), its history and its limitations. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2008;11(1):20-32.
 10. 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.
 11. Gaspar AR, Quintela DA. Physical modelling of globe and natural wet bulb temperatures to predict WBGT heat stress index in outdoor environments. *International journal of biometeorology*. 009;53(3): 221-30.
 12. Heidari H, Golbabaee F, Shamsipour A, Rahimi Forushani A, Gaeini A. Determination of Air Enthalpy Based on Meteorological Data as an Indicator for Heat Stress Assessment in Occupational Outdoor Environments, a Field Study in IRAN. *Journal of Research in Health Sciences*. 2016;16(3):133-40.
 13. Negahban A, Aliabadi M, Babayi Mesdaraghi Y, Farhadian M, Jalali M, Kalantari B, et al. Investigating the Association between Heat Stress and its Psychological Response to Determine the Optimal Index of Heat Strain. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*. 2014; 1(1):8-15 (in Persian)
 14. ISO-9920. International Organization for Standardization (ISO). Ergonomics of the thermal environment-Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. (Standard No. ISO 9920:2007). Geneva: ISO; 2007. . 2007.
 15. ISO-8996. International Organization for Standardization (ISO). Ergonomics of the thermal environment-Determination of metabolic rate. (Standard No. ISO 8996:2004). Geneva: ISO; 2004.
 16. Gatenby RM. Exponential relation between sweat rate and skin temperature in hot climates. *The Journal of Agricultural Science*. 1986;106(01):175-83.
 17. Dehghan H, Mortazavi SB, Jafari MJ, Maracy MR. Evaluation of wet bulb globe temperature index for estimation of heat strain in hot/humid conditions in the Persian Gulf. *Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*. 2012;17(12):1108.
 18. Bates GP, Schneider J. Hydration status and physiological workload of UAE construction workers: A prospective longitudinal observational study. *Journal of occupational medicine and toxicology*. 2008;3(1):21.
 19. Donoghue AM, Sinclair MJ, Bates GP. Heat exhaustion in a deep underground metalliferous mine. *Occupational and environmental medicine*. 2000;57(3):165-74.
 20. Dehghan H, Mortazavi SB, Jafari MJ, Maracy MR, Jahangiri M. The evaluation of heat stress through monitoring environmental factors and physiological responses in melting and casting

- industries workers. *International Journal of Environmental Health Engineering*. 2012;1(1):21.
21. Heidari H, Golbabaei F, Shamsipour A, Rahimi Forushani A, Gaeini A., The cut-off point for tympanic temperature as a heat strain index for evaluation of outdoor workers: a field study *Journal of occupational safety and ergonomics*, <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2017.1281524>
22. Broede P, Blazejczyk K, Fiala D, The Universal Thermal Climate Index UTCI compared to ergonomics standards for assessing the thermal environment, *Industrial health*, 2013; 51(1): 16-24.
23. McNeill MB, Parsons KC. Appropriateness of international heat stress standards for use in tropical agricultural environments. *Ergonomics*. 1999;42(6):779-97
24. Wang F, Gao C, Kuklane K, Holmér I. Effects of various protective clothing and thermal environments on heat strain of unacclimated men: The PHS (predicted heat strain) model revisited. *Industrial health*. 2013;51(3):266-74.
25. Parsons K. *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance*: Crc Press; 2014.

Validation of air enthalpy in evaluation of heat stress using wet bulb globe temperature (WBGT) and body core temperature: A case study in a hot and dry climate

Hamidreza Heidari¹, Hoda Rahimifard², Abolfazl Mohammadbeigi³, Farideh Golbabaei^{4,*}, Robabeh Sahranavard², Zahra Shokri²

¹ Assistant Professor, Department of Occupational Health, School of Public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

² Research Center for Environmental Pollutants, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

³ Associate Professor, Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

⁴ Professor, Department of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Considering the necessity of evaluating novel thermal indices for different individual and environmental conditions, the aim of this study was validation of a new enthalpy index for evaluation of heat stress in hot and dry climate.

Material and Method: In this descriptive analytical 97 city services outdoor workers were randomly selected and evaluated in spring and summer seasons in Qom city, Iran. Correlation between new enthalpy index and standard WBGT index, as well as physiological response of deep body temperature was studied and analyzed.

Result: Findings showed that regardless of the time of measurements, correlation between enthalpy and WBGT index was better than its correlation with tympanic temperature ($R^2=0.756$ versus $R^2=0.391$). Considering the time of measurement, it was found that with increasing temperature and decreasing humidity, the correlation between indices was reduced, although the correlation ratio was maintained similar.

Conclusion: Due to the simplicity of the enthalpy index measurement, its independency to measure the globe temperature and the possibility of estimation of this index using daily climate parameters in meteorological stations, and on the other hand, appropriate validity of enthalpy against WBGT and core temperature, it can be a good alternative for WBGT index and as a screening index for thermal environments in hot and dry condition.

Key words: *Enthalpy, Heat Stress, Validity, Tympanic Temperature*

* Corresponding Author Email: fgolbabaei@sina.tums.ac.ir