

## تعیین شاخص بهینه برای ارزیابی استرس حرارتی با توجه به پارامترهای فیزیولوژیک در صنایع فولاد

۱۴۳

مسعود حمه رضایی<sup>۱</sup> - فریده گلبابایی<sup>۲\*</sup> - پروین نصیری<sup>۲</sup> - کمال اعظم<sup>۲</sup> - سمیه فرهنگ دهقان<sup>۳</sup>اسعد فتاحی<sup>۴</sup> - فائزه دارابی<sup>۵</sup>

fgolbabaei@sina.tums.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۳۰

### چکیده

**مقدمه:** یکی از عوامل زیان آور در صنایع فولاد، استرس‌های حرارتی می‌باشد که سلامت و ایمنی شاغلین را مورد تهدید قرار می‌دهد و موجب بیماری‌ها و اختلالات متعددی می‌گردد. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی استرس حرارتی در صنایع فولاد و مقایسه شاخص‌های استرس گرمایی HSI، DI، WBGT و استرس حرارتی پیش بینی شده (PHS) در برآورد استرس گرمایی و تعیین شاخص بهینه می‌باشد.

**روش کار:** مطالعه حاضر در قالب مطالعه‌ای توصیفی - تحلیلی بر روی ۲۲۰ نفر از کارکنان شاغل در سه صنعت فولاد کشور انجام گرفت. پارامترهای محیطی و فیزیولوژیک مختلف بر اساس استاندارد های ISO 7726 و ISO 9886 در سه نوبت اندازه گیری و در نهایت متوسط وزنی زمانی شاخص های استرس گرمایی مذکور محاسبه شد و با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ مورد آنالیز آماری قرار گرفت.

**یافته ها:** متوسط وزنی زمانی شاخص های استرس حرارتی WBGT (۲۸،۲۸°C)، DI (۲۹،۱۱°C) و HSI (۶۵،۷%) بیش تر از حدود مجاز بود. پارامترهای فیزیولوژیک (دمای دهانی، دمای گوش، دمای سطح پوست، فشار سیستول و دیاستول و ضربان قلب) در نوبت دوم (ظهر) بیش ترین مقدار را نشان دادند. شاخص WBGT نسبت به شاخص های دیگر بیش ترین همبستگی را با دمای گوش، دهانی، پوست و ضربان قلب داشت (به ترتیب،  $r = 0/408$ ،  $r = 0/314$ ،  $r = 0/459$  و  $r = 0/302$ ،  $P < 0.05$ )، در حالی که با فشار خون سیستول و دیاستول، همبستگی معناداری نشان نداد ( $P > 0.05$ ). ضریب همبستگی بین شاخص استرس حرارتی WBGT و شاخص های HSI و DI، PHS بیش ترین مقدار را دارا بود (به ترتیب،  $r = 0/945$ ،  $r = 0/681$  و  $r = 0/600$ ،  $P < 0.05$ ).

**نتیجه گیری:** با توجه به همبستگی شاخص های مورد بررسی و پارامترهای فیزیولوژیک، چنین نتیجه گیری شد که شاخص WBGT بیش ترین ضریب همبستگی را با اکثر پارامترهای فیزیولوژیک مورد مطالعه داراست و لذا برای ارزیابی استرس گرمایی با چنین شرایط آب و هوایی در این صنعت، شاخص WBGT نسبت به شاخص های دیگر مورد مطالعه، بهینه ترین شاخص کاربردی است.

### کلمات کلیدی: شاخص استرس گرمایی، پارامترهای فیزیولوژیک، DI، HSI، WBGT، PHS، صنایع فولاد

- ۱- کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده علوم پزشکی ایران شهر، ایران شهر، ایران
- ۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۳- دانشیار، گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۴- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، تهران، ایران
- ۵- کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده علوم پزشکی ایران شهر، ایران شهر، ایران
- ۶- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

### مقدمه

با توجه به رشد روز افزون جمعیت کاری، صنایع مختلف، مشاغل و فرآیندهای مختلف تولیدی و استفاده از انرژی طبیعی و مصنوعی در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته، یکی از مهم ترین و متداول ترین مشکلات مربوط به مشاغل موجود در محیط کار، شرایط جوی نامناسب و کار در محیط گرم می باشد (۱، ۲)، به طوری که این مشکل در مشاغل مختلف در محیط های سرپوشیده از جمله صنایع فولاد، ریخته گری، صنایع شیشه، نانوایی و آشپزخانه ها وجود دارد (۳-۵). اگر این دمای محیط کار به حدی باشد که تعادل دمایی انسان را به هم بزند و بدن انسان از حالت هموستاز گرمایی خارج شود، به شاغلین استرس گرمایی وارد می شود (۶، ۷) و بدن انسان نسبت به این استرس حرارتی عکس العمل هایی چون افزایش دمای عمقی، ضربان قلب، فشارخون و غیره نشان می دهد (۸). این استرس های حرارتی در نهایت باعث اختلالاتی چون شوک گرمایی، خستگی مفرط و در مواردی مرگ می شوند (۸، ۹). در واقع استرس حرارتی خطری جدی در بسیاری از محیط های صنعتی محسوب می شود که به طور مستقیم بر روی عمل کرد، بهره وری و سلامتی افراد تاثیر می گذارد (۸، ۱۰، ۱۱). پارامترهایی نظیر دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت و سرعت جریان هوا همراه با فعالیت و نوع لباس در ایجاد استرس حرارتی و میزان آن موثر هستند (۱۲، ۱۳). در سراسر جهان تلاش های زیادی شده است که شرایط جوی حاکم به صورت یک عدد به نام شاخص استرس حرارتی خلاصه شود که در واقع معیاری برای نشان دادن شدت استرس حرارتی محیط کاری باشد (۱۴). هرچند که اعتقاد بر این است ارزیابی استرس حرارتی یک

کار زمان بر، مشکل و هزینه بر است. ارزیابی استرس های حرارتی به طور کلی از طریق پارامترهای جوی تعیین می شود که قادر به برآورد تاثیر چندین عامل محیطی روی آسایش گرمایی و توانایی فیزیولوژیکی است. متغیر های موجود در شاخص های استرس حرارتی و وزن نسبی آن ها در طول سال ها تغییر کرده است (۱۵). در طول قرن های گذشته تحقیقات عملی بسیاری در مورد چگونگی تعیین آسایش حرارتی و چگونگی درجه بندی استرس حرارتی انجام شده است. این تلاش ها در مدل های مختلف، برای توصیف آسایش حرارتی و در نتیجه استرس حرارتی انجام شده است. تعداد زیادی از این شاخص ها پیشنهاد شده که در سراسر جهان مورد استفاده قرار می گیرند. تاکنون بیش از ۱۰۰ شاخص جهت ارزیابی استرس حرارتی در محیط های گرم معرفی شده اند (۱۶). شاخص های استرس حرارتی به سه دسته تقسیم می شوند: شاخص های منطقی (شاخص هایی که براساس محاسبات مربوط به معادله تعادل حرارتی می باشند مانند استرس حرارتی (HSI)<sup>۱</sup> و استرس حرارتی پیش بینی شده (PHS<sup>2</sup>)، شاخص های تجربی (شاخص هایی که براساس استرین ذهنی و عینی می باشند مانند استرین فیزیولوژیکی (PSI)<sup>۳</sup>) و شاخص های مستقیم (شاخص هایی که براساس اندازه گیری مستقیم از پارامترهای محیطی است مانند دمای تر گوی سان (WBGT)<sup>۴</sup> و احساس ناراحتی (DI)<sup>۵</sup> (۱۷، ۱۸). هر یک از این شاخص ها دارای کاربردهای خاص و شرایط خاص خود می باشند و هنگام استفاده از این شاخص ها باید اطمینان

1. Heat Stress Index
2. Predicted Heat Strain
3. Physiological Strain Index
4. Wet-Bulb Globe Temperature
5. Discomfort Index

و بررسی پارامترهای فیزیولوژیکی کارگران در معرض مواجهه شامل دمای دهانی، دمای گوش، دمای سطح پوست، فشار سیستولی و دیاستولی و ضربان قلب و هم چنین تعیین شاخص بهینه براساس نوع ارتباط این شاخص‌ها با پارامترهای فیزیولوژیکی مورد مطالعه به منظور به کارگیری نتایج در ارزیابی و پیش‌های آتی در محیط‌های کاری مشابه انجام شد.

### روش کار

پژوهش حاضر مطالعه‌ای توصیفی-تحلیلی بود که در کارگران سازش یافته و در معرض مواجهه با گرما در تعدادی از صنایع فولاد ایران با سه تناژ تولیدی بالا (۱ میلیون تن در سال به بالا)، متوسط (۵۰۰۰۰۰-۱ میلیون تن در سال)، و پایین (از ۵۰۰۰۰۰ هزار تن در سال به پایین) به ترتیب در دو استان کشور در فصل تابستان انجام گرفت. ۲۲۰ نفر از کارکنان شاغل در این صنعت مورد مطالعه قرار گرفتند. افراد مورد مطالعه در مشاغل خود در معرض مواجهه با گرما بوده و به صورت تصادفی ساده انتخاب و وارد مطالعه شدند. همه شرکت کنندگان فرم رضایت آگاهانه را که به تایید کمیته اخلاق در پژوهش دانش گاه علوم پزشکی تهران رسیده بود، امضا کردند. افراد با سابقه بیماری‌های قلبی-عروقی و یا تحت هر درمان پزشکی خاص دیگر از مطالعه حذف شدند.

جهت انجام این مطالعه مراحل زیر انجام گرفت:

۱. جمع آوری پارامترهای فردی شرکت کنندگان: این پارامترها شامل سن ( $34.55 \pm 6.75$ )، قد، وزن، BMI ( $25.59 \pm 3.01$ )، سابقه کار ( $5.44$ )، کلوئی لباس ( $1.075 \pm 0.09$ ) و متابولیسم ( $18.1 \pm 35.18$ ) و پوسچر کاری افراد بود.

۲. سنجش پارامترهای محیطی: پارامترهای

حاصل شود که هیچ گاه خارج از محدوده عمل کرد آن‌ها استفاده نشوند. این شاخص‌ها در صنایع و محیط‌های کاری مختلف استفاده شده‌اند و بعد از استفاده دارای محدودیت‌هایی بوده و مورد انتقاد واقع شده‌اند. در ارتباط با میزان کارایی شاخص‌های استرس حرارتی در برآورد و تعیین استرس گرمایی مطالعات مختلفی در سطح جهان و ایران انجام گرفته است. در مطالعه‌ای که توسط Srivastava و همکاران (۲۰۰۰) جهت ارزیابی استرس گرمایی با استفاده از شاخص‌های WBGT، میانگین دمای تابشی ( $MRT^6$ ) و دمای موثر اصلاح شده ( $CET^7$ ) در یک کارخانه شیشه سازی صورت گرفت، شاخص WBGT برای تعیین ساعات کار و استراحت مناسب معرفی شد (۱۹). هم چنین Derby (۲۰۰۱) ضمن استفاده از شاخص‌های مختلف، شاخص HSI را برای استفاده در هر گونه وضعیت آب و هوایی جهت تعیین میانگین استرس روزانه پیشنهاد نموده است (۲۰).

لازم به ذکر است یکی از صنایع مهم و استراتژیک ایران که از اهمیت خاصی برخوردار است، صنایع عظیم فولاد می‌باشد و این صنایع در نقاط مختلف کشور چه در مناطق مرطوب و خنک مثل شمال ایران و چه در مناطق گرمسیر و مرطوب مثل جنوب ایران قرار دارند. کارگران شاغل در این صنعت بیش تر در محیط بسته با گرما به ویژه از نوع تابشی مواجهه دارند. در ایران برای نشان دادن شدت مواجهه کارگران با گرما در این صنعت و انتخاب یک شاخص بهینه برای ارزیابی استرس حرارتی آن بررسی کافی انجام نشده است. لذا این مطالعه با هدف اندازه گیری و مقایسه شاخص‌های WBGT، DI، HSI و PHS در سه مجتمع فولاد واقع در دو استان اصفهان و گیلان

6. Mean Radiant Temperature

7. Corrected Effective Temperature

TM-80 و هم چنین دمای پیشانی، پوست و پشت ساق پا به وسیله دماسنج دیجیتالی Beurer مدل Ft-۶۰ ساخت کشور آلمان مورد سنجش قرار گرفتند. ۴. محاسبه میزان شاخص‌های استرس گرمایی: تعیین میزان شاخص WBGT و PHS به ترتیب برطبق استاندارد ISO 7243 و ISO 7933 (۲۲، ۲۳) انجام گرفت که شاخص PHS در واقع بهبود یافته روش SWreq (میزان عرق مورد نیاز) و براساس معادله تعادل گرمایی بدن می باشد. جهت محاسبه این شاخص پارامترهای محیطی براساس ISO-7726 چون دمای خشک هوا، میانگین دمای تابشی، فشار بخار جزئی، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا و پارامترهای فردی چون میزان متابولیسم براساس استاندارد ISO-8996 و مشخصات گرمایی لباس افراد براساس استاندارد ISO-9920 (۲۴) برآورد و اندازه گیری شدند. در این شاخص پس از محاسبه میزان عرق مورد نیاز (SWreq) برحسب وات بر مترمربع، نتایج آن براساس پارامترهای محاسبه شده ای چون حداکثر میزان تری پوست، حداکثر میزان عرق، حداکثر دمای رکتال و حداکثر ائتلاف آب تفسیر خواهد شد. این شاخص و سایر شاخص های استرس گرمایی در هر دوره زمانی از اندازه گیری محاسبه و سپس میانگین وزنی زمانی هشت ساعته (TWA) آن ها به دست آمده است. محاسبه شاخص DI و HSI براساس فرمول های زیر صورت گرفت (۱۶).

$$DI = 0.5t_w + 0.5t_a$$

$$HSI = \frac{E_{req}}{E_{max}} \times 100$$

۵. تجزیه و تحلیل آماری: از آمار توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار و درصد برای توصیف داده ها و از آمار تحلیلی از جمله ضریب همبستگی

شرایط جوی شامل دمای هوای خشک ( $t_a$ )، تر ( $t_{nw}$ ) و تابشی ( $t_g$ )، رطوبت نسبی (RH) و سرعت جریان هوا ( $V_a$ ) جهت محاسبه شاخص HSI، PHS و بررسی نتایج اندازه گیری شدند و نهایتاً متوسط وزنی - زمانی برای هر یک از آن ها بر طبق استاندارد ISO-7726 (۲۱) محاسبه گردید. برای تعیین دمای خشک و تر طبیعی و تابشی، دستگاه WBGT متر مدل Casella Microtherm WBGT ساخت کشور انگلستان به کار گرفته شد. جهت اندازه گیری رطوبت نسبی از رطوبت سنج دیجیتالی Lutron Electronic مدل PHB-318 ساخت کشور تایوان استفاده گردید. اندازه گیری سرعت جریان هوا با آنومتر حرارتی دیجیتالی مدل KIMO نوع VT50 ساخت کشور فرانسه انجام گرفت. اندازه گیری ها در واحدهای مختلف شامل واحدهای نورد گرم، آهن سازی، فولاد سازی و ریخته گری و در طول شیفت کاری ۸ ساعته صبح، در سه مقطع زمانی در شروع شیفت کاری، وسط و پایان شیفت کاری و در سه ارتفاع قوزک پا، شکم و سر افراد انجام شد.

۳. سنجش پارامترهای فیزیولوژیکی: اندازه گیری پارامترهای فیزیولوژیکی مطابق استاندارد ISO9886 (شامل دمای دهانی، گوش (تمپانیک)، فشارخون سیستولیک و دیاستولیک و ضربان قلب) در افراد مورد مطالعه به طور هم زمان با پارامترهای محیطی صورت گرفت (۲۰). با استفاده از دستگاه فشار سنج مچی دیجیتالی مدل Beurer نوع BC-۰۸ ساخت کشور آلمان، فشارخون سیستولیک، دیاستولیک و ضربان قلب اندازه گیری شد. دمای دهانی با استفاده از دماسنج دیجیتالی دهانی Beurer مدل Ft-09 ساخت کشور آلمان و دمای گوش کارگران فولاد با استفاده از ترمومتر دیجیتالی Healer مدل

جدول (۱) - مقادیر میانگین و انحراف معیار پارامترهای محیطی در سه نوبت اندازه گیری در صنایع فولاد مورد بررسی

میانگین	نوبت اندازه گیری			پارامتر محیطی
	سوم (ساعت ۴ بعداز ظهر)	دوم (ساعت ۱۲ ظهر)	اول (ساعت ۸ صبح)	
$38/99 \pm 7/32$	$39/94 \pm 6/84$	$39/94 \pm 6/84$	$37/10 \pm 8/28$	$t_a$ (°C)
$44/38 \pm 10/39$	$44/58 \pm 10/40$	$45/58 \pm 9/44$	$42/98 \pm 11/34$	$t_g$ (°C)
$27/02 \pm 2/34$	$27/78 \pm 1/72$	$27/66 \pm 1/44$	$25/64 \pm 3/38$	$t_{nw}$ (°C)
$27/89 \pm 19/91$	$27/59 \pm 17/63$	$29/91 \pm 21/00$	$30/43 \pm 21/10$	RH (%)
$0/43 \pm 0/31$	$0/35 \pm 0/31$	$0/46 \pm 0/30$	$0/50 \pm 0/32$	$V_a$ (m/s)

$t_a$ : دمای خشک هوا؛  $t_g$ : دمای گوی سان؛  $t_{nw}$ : دمای تر طبیعی؛ RH: رطوبت نسبی؛  $V_a$ : سرعت جریان هوا

جدول (۲) - میانگین وزنی-زمانی شاخص‌های استرس حرارتی در مقایسه با حدود مجاز آن‌ها

مقدار مجاز	میانگین وزنی-زمانی ( $TWA$ )	شاخص استرس حرارتی
28	$28/28 \pm 2/06$	WBGT (°C)
<21	$29/11 \pm 2/16$	DI (°C)
0	$65/70 \pm 22/76$	HSI (%)
350	$294/63 \pm 80/04$	PHS/SWreq (w/m <sup>2</sup> )

شده آن‌ها توسط سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO<sup>8</sup>) (۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۶) در جدول (۲) قابل مشاهده است. میانگین شاخص‌های WBGT، DI و HSI بالاتر از حدود مجاز توصیه شده برآورد گردید. شکل (۱)، نمودار پراکنش متوسط وزنی زمانی شاخص‌های استرس حرارتی را در کل صنایع فولاد مورد بررسی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است از کل اندازه‌گیری‌های انجام شده ۳۷/۶۶ درصد از مقادیر WBGT و ۱۰۰ درصد از مقادیر DI و تقریباً ۷۵ درصد از مقادیر PHS و در نهایت کل مقادیر HSI بالاتر از حدود مجاز توصیه شده بود.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، پارامترهای فیزیولوژیک هم‌زمان با پارامترهای جوی در سه دوره‌ی زمانی در طول شیفت کاری کارکنان اندازه‌گیری شدند. نتایج توصیفی حاصل از این اندازه‌گیری‌ها در جدول (۳) آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه

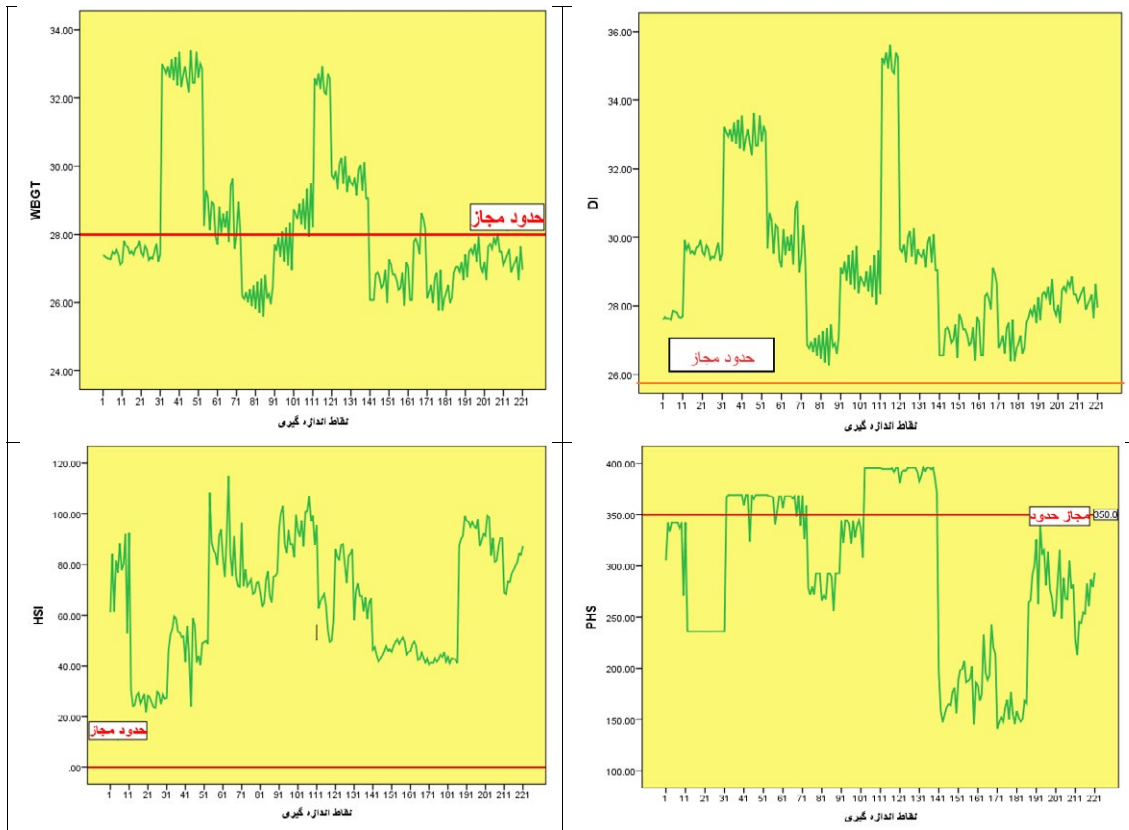
پیرسون برای اندازه‌گیری قدرت ارتباط خطی بین دو متغیر استفاده شده است. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد آزمایش قرار گرفت. سطح معنی داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. تمامی آنالیزهای آماری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ صورت گرفت.

### یافته‌ها

جدول (۱) میانگین و انحراف معیار پارامترهای شرایط جوی را در سه نوبت اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد به‌طور میانگین در شروع شیفت کاری مقادیر دمای خشک، تر و تابشی تا حدودی کم‌تر از نوبت‌های دیگر اندازه‌گیری و مقادیر رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا تا حدودی بالاتر از نوبت‌های دیگر بود.

میانگین وزنی زمانی شاخص‌های استرس حرارتی مورد نظر در مقایسه با حدود مجاز توصیه

8. International Organization for Standardization



شکل (۱) - نمودار پراکنش متوسط وزنی زمانی شاخص‌های استرس حرارتی در مقایسه با حدود مجاز توصیه شده

حرارتی مورد بررسی، رابطه بیش تری بین WBGT و متغیرهای فیزیولوژیکی دیده شد و این رابطه با دمای گوش، دهانی و پوست و ضربان قلب از لحاظ آماری معنی دار تعیین گردید.

### بحث

در مطالعه حاضر برای ارزیابی شاخص بهینه بر اساس استانداردهای مختلف بین المللی مانند ISO (۲۲، ۲۳) و پارامترهای فیزیولوژیکی مانند دمای عمقی بدن، دمای پوست، ضربان قلب و فشارخون جهت ارزیابی استرین گرمایی عمل نموده چرا که مطالعات مختلف در محیط‌های بسته و روباز، به ارزیابی شاخص‌های استرس حرارتی و مقایسه با

می‌شود میانگین پارامترهای فیزیولوژیک این افراد در نوبت ظهر بالاتر از دیگر دوره‌های زمانی اندازه‌گیری شده می‌باشد.

میزان همبستگی شاخص‌های استرس حرارتی با پارامترهای فیزیولوژیک در جدول (۴) ذکر شده است. اکثر پارامترهای فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده مثل ضربان قلب و فشار خون همبستگی معناداری نشان نداده است. لازم به ذکر است در تمام پارامترهای فیزیولوژیک با وجود معناداری آن‌ها همبستگی قوی نبوده است. مطابق جدول (۴)، کلیه شاخص‌ها با هم دیگر همبستگی معناداری دارند ( $P < 0.05$ ) و بالاترین ضریب همبستگی مربوط به شاخص‌های WBGT با DI می‌باشد. در بین شاخص‌های استرس

جدول (۳) - میانگین و انحراف معیار پارامترهای فیزیولوژیکی در سه نوبت اندازه گیری در صنایع فولاد مورد بررسی

میانگین	نوبت اندازه گیری			پارامتر فیزیولوژیکی
	سوم (ساعت ۴ بعداز ظهر)	دوم (ساعت ۱۲ ظهر)	اول (ساعت ۸ صبح)	
36/96 ± 0/46	36/98 ± 0/40	37/25 ± 0/44	36/67 ± 0/55	دمای دهانی (°C)
37/04 ± 0/43	37/05 ± 0/37	37/35 ± 0/42	36/73 ± 0/52	دمای گوش (°C)
35/61 ± 0/76	35/65 ± 0/63	35/83 ± 0/68	35/37 ± 0/98	دمای پوست (°C)
137/59 ± 11/57	135/55 ± 9/48	141/38 ± 11/33	135/86 ± 13/92	فشار سیستولی (mmHg)
85/36 ± 9/05	85/49 ± 8/19	87/71 ± 8/76	85/06 ± 10/20	فشار دیاستولی (mmHg)
90/86 ± 12/13	89/69 ± 10/97	95/86 ± 12/98	87/03 ± 12/44	ضربان قلب (ضربه در دقیقه)

جدول (۴) - رابطه بین شاخص‌های استرس حرارتی و پارامترهای فیزیولوژیکی

(w/m <sup>2</sup> ) PHS		(%) HSI		(°C) DI		(°C) WBGT		شاخص‌ها
P-value α = 0.05	ضریب همبستگی	P-value α = 0.05	ضریب همبستگی	P-value α = 0.05	ضریب همبستگی	P-value α = 0.05	ضریب همبستگی	
0/002	0/211	0/149	-0/097	<0/001	0/315	<0/001	0/408	دمای گوش (°C)
0/791	0/018	0/009	0/166	0/013	0/175	0/014	0/314	دمای دهانی (°C)
<0/001	0/265	0/135	-0/101	<0/001	0/361	<0/001	0/459	دمای پوست (°C)
0/768	-0/02	0/059	0/127	0/101	-0/111	0/217	-0/083	فشار سیستولی (mmHg)
0/477	0/048	0/002	0/203	0/098	-0/112	0/143	-0/099	فشار دیاستولی (mmHg)
<0/001	0/300	<0/001	0/234	0/032	0/144	0/0105	0/302	ضربان قلب (ضربه در دقیقه)
						-	1	(°C) WBGT
				-	1	<0/001	0/945	(°C) DI
		-	1	<0/001	0/401	0/045	0/600	(%) HSI
-	1	<0/001	0/540	<0/001	0/629	<0/001	0/681	(w/m <sup>2</sup> ) PHS

و فشارخون جهت ارزیابی استرین گرمایی استفاده نموده اند. محققان مختلف شاخص استرین حرارتی تجمعی (CHSI<sup>9</sup>) را بر اساس دمای عمقی و ضربان قلب (۳۲) و نیز شاخص استرین فیزیولوژیکی (PSI<sup>10</sup>) را بر اساس دمای عمقی و ضربان قلب مطرح و ارایه کرده اند (۳۳). دلیل این که در این مطالعه از دو شاخص WBGT و PHS استفاده شد، این بود که این دو شاخص توسط سازمان های بین المللی

9. Cumulative heat strain Index

10. Physiological strain index

پارامترهای فیزیولوژیکی (۲۷)، مقایسه شاخص های استرس حرارتی در یک محیط گرم و مرطوب (۲۸)، بررسی مقایسه ای شاخص های استرس گرمایی در برآورد استرس گرمایی (۱۷)، بررسی ارتباط بین شاخص های استرس گرمایی محیطی، فیزیولوژیکی و ادراکی (۲۹)، مقایسه و اعتبار سنجی شاخص های استرس حرارتی (۳۰) (۳۱) و بررسی استرس گرمایی و خستگی کارگران (۳)، از پارامترهای فیزیولوژیکی مانند دمای عمقی بدن، دمای پوست، ضربان قلب



بدان علت باشد که فشارخون علاوه بر گرمای محیط تحت تاثیر پارامترهای مختلف دیگر مانند صدای محیط می باشد. همان طور که در مطالعه دهقان و همکاران، تغییرات فشار خون در افراد در معرض گرما و صدا، قبل و بعد از مواجهه ارتباط معناداری نشان داده و مواجهه با صدا و گرما به ترتیب باعث افزایش و کاهش فشار خون سیستول و دیاستول شده است (۳۶). ولی ضربان قلب همانند دمای عمقی بدن در مدت زمان طولانی به حالت طبیعی بر می گردد و ارتباط بهتری در بیش تر مطالعات انجام شده نشان داده است (۳۷، ۳۸). شاخص HSI با پارامتر ضربان قلب، فشارخون دیاستول و دمای دهانی همبستگی ضعیف معناداری نشان داد و با بقیه پارامترها همبستگی دیده نشد. در واقع این همبستگی بسیار ضعیف HSI نمی تواند معیاری برای انتخاب آن به عنوان شاخص بهینه برای صنایع فولاد باشد. چون این مقدار همبستگی می تواند تحت تأثیر شرایط و عوامل مختلف دیگر تغییر کند. این موضوع بر خلاف نتیجه مطالعه Ramanathan و Belding بود که شاخص HSI همبستگی بالایی با دمای پوست و دیگر پارامترهای فیزیولوژیک داشت (۳۹). آن ها در مطالعه آزمایش گاهی خود شاخص WBGT را شاخص ضعیف تری در همبستگی با شاخص های استرین حرارتی نسبت به HSI و WGT معرفی کردند که این نتایج موافق با یافته های مطالعه حاضر نیست و این می تواند از شرایط و محیط مطالعه متفاوت آن ها نشأت گرفته باشد. مطالعه حاضر در شرایط میدانی انجام شد که عوامل محیطی مختلف مانند سرعت جریان هوا و رطوبت بر آن تأثیر گذار هستند. همبستگی شاخص PHS با ضربان قلب، دمای پوست و دمای گوش ضعیف و معنی دار بود

مانند ISO جهت ارزیابی استرس حرارتی معرفی شده (22, 34) و مطالعات زیادی نیز بر استفاده از این دو شاخص تاکید کرده اند. شاخص DI در چندین منطقه جغرافیایی هم زمان با WBGT به کار برده شده و در کشورهای اروپایی از این شاخص به عنوان مکملی برای شاخص WBGT عنوان می کنند چرا که همبستگی بالایی با شاخص WBGT نشان می دهد (6, 35). شاخص HSI نیز به دلیل این که شباهت زیادی در محاسبات با SWreq/PHS دارد، مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه نیز بر اساس مطالعات قبلی، پارامترهای فیزیولوژیک را به عنوان معیار جهت ارزیابی شاخص بهینه قرار داد. البته در بیش تر مطالعات ضربان قلب و دمای عمقی بدن را به دلیل این که استرین های محیطی را بهتر نشان می دهند و زمان بیش تری طول می کشد تا به حالت طبیعی برگردند، برای ارزیابی استرین حرارتی معرفی نموده اند. مطابق یافته های این مطالعه، بالاترین همبستگی بین شاخص های WBGT و DI با شاخص های استرین مذکور دیده شد و همبستگی ها به ترتیب مربوط به پارامترهای دمای پوست، گوش، دهانی، ضربان قلب بود. دو شاخص مذکور در همبستگی با پارامترهای فیزیولوژیک مثل یک دیگر عمل کرده اند. در مطالعات قبلی (۱۷، ۱۸، ۳۳) و در مطالعه حاضر همبستگی بالایی بین شاخص های WBGT و DI دیده شده است و این می تواند به دلیل شباهت محاسباتی و پارامترهای محیطی مورد استفاده در محاسبه شاخص های مذکور باشد. بنابراین در همبستگی با استرین های فیزیولوژیک نیز می توانند مانند یک دیگر عمل نمایند. این دو شاخص همبستگی معناداری با فشارخون سیستولی و دیاستولی نشان ندادند که این موضوع می تواند



و با فشارخون دیاستولی، سیستولی رابطه معناداری یافت نشد. با توجه به این میزان همبستگی شاخص های استرس حرارتی و پارامترهای فیزیولوژیک در صنایع فولاد، می توان شاخص بهینه را به ترتیب WBGT، DI، PHS و HSI بیان کرد. در این مطالعه مبنای انتخاب بر این اصل بود که هر شاخصی که با اکثر شاخص های استرس و شاخص های دمای عمقی و ضربان قلب همبستگی معنادار و بالاتری نشان دهد، می تواند شاخص مناسب تری برای ارزیابی استرس حرارتی در شرایط جوی مشابه با صنایع فولاد باشد.

در خصوص همبستگی شاخص های استرس حرارتی بایک دیگر، در کل صنایع فولاد مورد بررسی می توان به این نتیجه رسید که شاخص WBGT و PHS که مورد تایید سازمان استاندارد ISO هستند (۴۰، ۴۱) دارای همبستگی معناداری با دیگر شاخص ها هستند به طوری که ضریب همبستگی WBGT به ترتیب با DI  $0.945$ ، HSI  $0.600$  و PHS  $0.681$  و ضریب همبستگی شاخص PHS نیز به ترتیب با WBGT  $0.681$ ، DI  $0.629$  و HSI  $0.540$  بود. شاخص HSI به نسبت همبستگی متوسطی با شاخص های دیگر داشته ولی با توجه به محاسبه این شاخص در مقاطع زمانی مختلف و در طول ۸ ساعت کاری، مقدار عددی آن بزرگ و تقریباً غیر واقعی بود. این می تواند به دلیل وجود جریان هوای مصنوعی ناشی از فن ها باشد که در پست های کاری کارگران وجود دارد. بر اساس نتایج مطالعه Di Corleto، مقدار این شاخص می تواند تحت تاثیر عوامل یادشده اغراق آمیز و بیش از حد نشان داده شود (۲۷). با در نظر گرفتن عوامل ذکر شده در بالا، می توان شاخص WBGT را به عنوان شاخص

بهینه تری نسبت به شاخص های دیگر در صنایع فولاد معرفی کرد چرا که این شاخص با شاخص های استرس حرارتی مورد بررسی و با شاخص های استرس فیزیولوژیک همبستگی متوسط و بیش تری نسبت به سایر شاخص های مورد مطالعه دارد. البته این نتیجه در راستای یافته های برخی مطالعات قبلی می باشد (۱۷، ۱۸) ولی بر خلاف مطالعه Peters و همکاران است که با مقایسه شاخص های استاندارد ISO در صنایع شیشه و فولاد بیان کردند که ISO-7933 آنالیز دقیق تری نسبت به ISO-7243 جهت ارزیابی استرس حرارتی انجام خواهد داد (۴۲). ولی در مطالعه حاضر ISO-7243 شاخص بهتری نسبت به دیگر شاخص های مورد مطالعه نشان داده است. در مطالعه Di Corleto که در صنایع آلومینیوم استرالیا در یک آب و هوای نیمه گرمسیری جهت مقایسه سه شاخص WBGT، عرق مورد نیاز ( $SW_{req}$ ) و HSI با استفاده از پایش فیزیولوژیک ضربان قلب و دمای عمقی بدن انجام داد، این طور نتیجه گرفته شد که شاخص ISO-7933 برای این صنعت در آن آب و هوا شاخص بهتری است و WBGT در محدوده دمایی 28-32 درجه سانتی گراد مناسب بوده که این تقریباً عکس نتیجه ی مطالعه حاضر است. از آن جایی که شاخص  $SW_{req}$  در سال ۲۰۰۴ بازبینی و نسخه جدید آن PHS نام گذاری گردید، پارامترهای میزان عرق و دمای رکتال را پیش بینی خواهد نمود. Mcneill و Parsons نیز شاخص WBGT را برای ارزیابی استرس حرارتی محیط های کشاورزی در محیط های گرم و خشک معرفی کردند، اگرچه کشاورزی جزو مشاغل روباز محسوب می شود (۴۳).

با توجه به نتایج این تحقیق و محدودیت هایی

وپارامترهای فیزیولوژیک، شاخص WBGT بیشترین همبستگی را با بیش تر پارامترهای فیزیولوژیک مورد مطالعه، نسبت به شاخص های دیگر داراست. لذا چنین نتیجه گیری می شود که برای ارزیابی استرس گرمایی باچنین شرایط آب و هوایی در این صنعت، شاخص WBGT نسبت به دیگر شاخص های مورد مطالعه، شاخصی بهینه تر و کاربردی است. هرچند که در این مطالعه شاخص WBGT شاخصی بهینه تر در این صنعت معرفی شد اما به مطالعات بیش تر جهت بررسی سایر شاخص های موجود نیاز می باشد.

### تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی تحت عنوان "ارزیابی میزان استرس گرمایی کارگران براساس شاخص های مختلف گرمایی و معرفی شاخص بهینه در صنایع فولاد ایران" مصوب دانش گاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران به کد 22834-27-02-92 می باشد که با حمایت دانش گاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران اجرا شده است. نویسندگان از صنایع فولاد و کلیه کارکنان این شرکت ها که نهایت همکاری را برای اجرای این طرح پژوهشی داشته اند کمال تشکر و امتنان را دارند.

چون زمان بر بودن، همکاری نکردن بعضی از صنایع فولاد و حجم بالای داده ها، پیشنهاد می گردد که مطالعاتی دیگر توسط محققان جهت اعتبار سنجی و بهینه سازی شاخص های استرس حرارتی دیگر چون CET، ET، P4SR و ITS و غیره در صنایع فولاد با توجه به شرایط آب و هوایی و یا جغرافیایی مختلف در ایران و مقایسه مایعات مختلف در بدن و متابولیت های موجود در خون و ادرار افرادی که در مواجهه با گرما می باشند و هم چنین جهت تعیین تأثیر گرمای زیاد صنایع فولاد در ناباروری کارکنان مواجهه شده با استرس گرمایی از طریق شمارش و تعیین حجم و تعداد اسپرم های فعال کارکنان انجام گردد.

### نتیجه گیری

براساس شرایط آب و هوایی منطقه و نوع صنعت، شاخص های مختلفی می توانند برای ارزیابی استرس حرارتی کارگران در معرض مناسب و بهینه معرفی شوند. در بیش تر مطالعات، شاخص WBGT به دلیل سادگی در محاسبه و همبستگی خوب با پارامترهای فیزیولوژیک و دیگر شاخص های استرس حرارتی مناسب تر اعلام شده است و در مطالعه حاضر نیز باتوجه به همبستگی شاخص های مورد بررسی

### REFERENCES

1. Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Forushani AR, Gaeini A. Outdoor occupational environments and heat stress in IRAN. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2015;13(1):48.
2. Golbabaie F, Monazzam M, Hematjo R, Hosseini M, Fahang-Dehghan S. The assessment of heat stress and heat strain in pardis petrochemical complex, Tehran, Iran. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2015;5(1):6-11.
3. Chen M-L, Chen C-J, Yeh W-Y, Huang J-W, Mao I-F. Heat stress evaluation and worker fatigue in a steel plant. *AIHA Journal*. 2003;64(3):352-9.
4. Farhang Dehghan S, Mehri A, Golbabaie F, Beheshti MH. Heat stress assessment in outdoor workplaces of a hot arid climate based on meteorological data: a case study in Qom, Iran. *Journal Mil Med*. 2015;17(2):89-95.
5. Vatani J, Golbabaie F, Dehghan SF, Yousefi A. Applicability of Universal Thermal Climate Index

- (UTCI) in occupational heat stress assessment: a case study in brick industries. *Industrial health*. 2016;54(1):14-9.
6. Epstein Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial health*. 2006;44(3):388-98.
  7. Golbabaee F, Hamerezae M, Fathi A, Dibakhosravi A. Studying the effectiveness of re-hydration on productivity in a sugar beet workers among farmers in West Azarbaijan city. *Health and Safety at Work*. 2014;4(3):49-58.
  8. Parvari RA, Aghaei HA, Dehghan H, Khademi A, Maracy MR, Dehghan SF. The effect of fabric type of common iranian working clothes on the induced cardiac and physiological strain under heat stress. *Archives of environmental & occupational health*. 2015;70(5):272-8.
  9. Hamerezae M, Dehghan SF, Golbabaee F, Fathi A, Barzegar L, Heidarnejad N. Assessment of Semen Quality among Workers Exposed to Heat Stress: A Cross-Sectional Study in a Steel Industry. *Safety and Health at Work*. 2017.
  10. Mazlomi A, Golbabaee F, Farhang Dehghan S, Abbasinia M, Mahmoud Khani S, Ansari M, et al. The influence of occupational heat exposure on cognitive performance and blood level of stress hormones: A field study report. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2016:1-9.
  11. Hajizadeh R, Golbabaee F, Monazzam M, Farhang-Dehghan S, Ezadi-Navan E. Productivity loss from occupational exposure to heat stress: A case study in Brick Workshops/Qom-Iran. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2015;6(3):143-8.
  12. McLELLAN TM, Selkirk GA. The management of heat stress for the firefighter: a review of work conducted on behalf of the Toronto Fire Service. *Industrial health*. 2006;44(3):414-26.
  13. Ducharme MB. Heat stress of helicopter aircrew wearing immersion suit. *Industrial health*. 2006;44(3):433-40.
  14. Parsons K. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance: CRC press; 2014.
  15. Moran DS, Epstein Y. Evaluation of the environmental stress index (ESI) for hot/dry and hot/wet climates. *Industrial health*. 2006;44(3):399-403.
  16. Blazejczyk K, Epstein Y, Jendritzky G, Staiger H, Tinz B. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International journal of biometeorology*. 2012;56(3):515-35.
  17. Monazzam M, Golbabaee F, Hematjo R, Hosseini M, Nassiri P, Fahang-Dehghan S. Evaluation of DI, WBGT, and SWreq/PHS heat stress indices for estimating the heat load on the employees of a petrochemical industry. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2015;6(1):6-10.
  18. Hajizadeh R, Golbabaee F, Farhang Dehghan S, Beheshti MH, Jafari SM, Taheri F. Validating the heat stress indices for using in heavy work activities in hot and dry climates. *Journal of research in health sciences*. 2016;16(2):90-5.
  19. Srivastava A, Kumar R, Joseph E, Kumar A. Heat exposure study in the workplace in a glass manufacturing unit in India. *Annals of occupational hygiene*. 2000;44(6):449-53.
  20. Watts JD, Kalkstein L. The Development of a Warm Weather Relative Comfort Index for Environmental Analysis. 2002.
  21. ISO I. 7726, Ergonomics of the Thermal Environment, Instruments for Measuring Physical Quantities. Geneva: International Standard Organization. 1998.
  22. ISO I. 7243, 1989, Hot environments-Estimation of heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva: International Standards Organization. 1989.
  23. ISO I. 7933, 2004, Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain. International Standardisation Organisation, Geneva. 2004.

24. Standardization IOF. Ergonomics of the Thermal Environment: Estimation of the Thermal Insulation and Evaporative Resistance of a Clothing Ensemble: ISO; 1991.
25. Thom EC. The discomfort index. *Weatherwise*. 1959;12(2):57-61.
26. Belding HS, Hatch TF. Index for evaluating Heat Stress in Terms of resulting Physiological Strains. *Heating, Piping and Air Conditioning*. 1955;27(8):129-36.
27. Di Corleto R. Evaluation of heat stress indices using physiological comparisons in an alumina refinery in a sub-tropical climate. Deakin University, 1998.
28. Pulket C, Henschel A, Burg WR, Saltzman BE. A comparison of heat stress indices in a hot-humid environment. *The American Industrial Hygiene Association Journal*. 1980;41(6):442-9.
29. Habibi P, Momeni R, Dehghan H. Relationship of environmental, physiological, and perceptual heat stress indices in Iranian Men. *International journal of preventive medicine*. 2015;6.
30. Alimohamadi I, Falahati M, Farshad A, Zokaie M, Sardar A. Evaluation and validation of heat stress indices in Iranian oil terminals. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2015;4(2):21-5.
31. Logan PW, Bernard TE. Heat stress and strain in an aluminum smelter. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1999;60(5):659-65.
32. Frank A, Belokopytov M, Shapiro Y, Epstein Y. The cumulative heat strain index—a novel approach to assess the physiological strain induced by exercise-heat stress. *European journal of applied physiology*. 2001;84(6):527-32.
33. Moran D, Pandolf K, Shapiro Y, Laor A, Heled Y, Gonzalez R. Evaluation of the environmental stress index for physiological variables. *Journal of thermal biology*. 2003;28(1):43-9.
34. ISO I. 7933, 2004, Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain. Geneva: International Standards Organization. 2004.
35. Golbabaie F, Monazam Esmaili MR, Hemmatjou R, Yaaghoub P, Reza G, Hosseini M. Comparing the Heat Stress (DI, WBGT, SW) Indices and the Men Physiological Parameters in Hot and Humid Environment. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2012;5(2):245-52.
36. Dehghan H, Bastami MT, Mahaki B. Evaluating combined effect of noise and heat on blood pressure changes among males in climatic chamber. *Journal of Education and Health Promotion*. 2017;6.
37. Dehghan SF, Nassiri P, Monazzam MR, Aghaei HA, Moradirad R, Kafash ZH, et al. Study on the noise assessment and control at a petrochemical company. *Noise & Vibration Worldwide*. 2013;44(1):10-8.
38. Dehghan H, Sartang AG. Validation of perceptual strain index to evaluate the thermal strain in experimental hot conditions. *International journal of preventive medicine*. 2015;6.
39. Ramanathan N, Belding H. Physiological evaluation of the WBGT index for occupational heat stress. *The American Industrial Hygiene Association Journal*. 1973;34(9):375-83.
40. Parsons KC. International heat stress standards: a review. *Ergonomics*. 1995;38(1):6-22.
41. Kampmann B, Bröde P, Fiala D. Physiological responses to temperature and humidity compared to the assessment by UTCI, WBGT and PHS. *International journal of biometeorology*. 2012;56(3):505-13.
42. Peters H. Evaluating the heat stress indices recommended by ISO. *International journal of industrial ergonomics*. 1991;7(1):1-9.
43. Mcneill MB, Parsons KC. Appropriateness of international heat stress standards for use in tropical agricultural environments. *Ergonomics*. 1999;42(6):779-97.

## Determination of optimum index for heat stress assessment on the basis of physiological parameters, in steel industries

Masoud Hamerezaee<sup>1</sup>, Farideh Golbabaee<sup>2\*</sup>, Parvin Nasiri<sup>2</sup>, Kamal Azam<sup>3</sup>, Somayeh Farhang Dehghan<sup>4</sup>, Asad Fathi<sup>5</sup>, Faezeh Darabi<sup>6</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Department of Occupational Health, Iranshahr University of Medical Sciences, Iranshahr, Iran

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

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Occupational Health, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>5</sup> M.Sc., Department of Occupational Health, Iranshahr University of Medical Sciences, Iranshahr, Iran

<sup>6</sup> M.Sc., Department of Occupational Health, School of Public Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

### Abstract

**Introduction:** Heat stress is one of the hazardous agents in the steel industries which can threaten the health and safety of workers and lead to serious occupational diseases. The aim of the study was to assess the heat stress in the steel industries and compare PHS (Physiological Strain Index), WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature), DI (Discomfort Index) and HSI (Heat Stress Index) indices for the estimation of heat stress and to determine the optimum index for steel industries.

**Material and Method:** This descriptive-analytic study was conducted among 220 workers engaged in two steel industries in Iran. Environmental and physiological parameters were measured according to ISO 7726 and ISO 9886 in three times of measurement, and finally the time-weight average of the heat stress indices were calculated. All data were analyzed using SPSS ver. 20.

**Result:** The time-weight average of WBGT (28.28 °C), DI (29.11 °C), HIS (65.7 %) indices were higher than the recommended limits. Physiological parameters (oral, tympanic and skin temperatures, systolic and diastolic pressures and heart rate) had the greatest value in the second time of measurement (afternoon). WBGT index comparing to the PHS, DI and HSI indices had highest correlation with oral, tympanic and skin temperatures and heartbeat ( $r=0.314, 0.408, 0.459, 0.302$ , respectively;  $P < 0.05$ ), while systolic and diastolic blood pressures showed no significant correlation with WBGT ( $P > 0.05$ ). The WBGT index had the highest correlation with studied indices which was 0.945, 0.681 and 0.600 for DI, PHS and HSI, respectively.

**Conclusion:** This study assessed the optimal index with regard to the physiological parameters, and it was concluded that the WBGT index has the highest correlation with the most of physiological parameters, and therefore, WBGT index can be the most optimum index to heat stress assessment in the studied steel industries.

**Key words:** Heat Stress Index, Physiological Parameters, PHS, WBGT, HIS, DI, Steel Industry

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