



اعتبارسنجی شاخص‌های استرس حرارتی WBGT و P4SR به کمک دمای عمقی بدن

محسن فلاحتی^۱، ایرج علیمحمدی^۲، علی اصغر فرشاد^۳، مجتبی ذکایی^۴، علی سردار^۵

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۱

تاریخ ویرایش: ۹۰/۰۷/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۶/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: شرایط محیطی گرم و مرطوب در بسیاری از مناطق جهان شایع می‌باشد که این شرایط می‌تواند بر سلامت و راندمان افراد موثر باشد. بنابراین جهت توصیف مناسب از شرایط محیطی باید میزان اعتبار شاخص‌های استرس حرارتی مورد استفاده را سنجید. هدف این مطالعه بررسی میزان دقت و اعتبار شاخص‌های WBGT و P4SR از طریق مقایسه آن‌ها با دمای عمقی بدن در یک پایانه نفتی بود.

روش بررسی: این پژوهش روی ۹۴ نفر از شاغلین واحدهای مختلف در دو گروه سازش یافته و سازش نیافته با گرما انجام گرفت. پس از شناسایی واحدهای مختلف و بررسی نحوه فعالیت کاری، اقدام به اندازه‌گیری پارامترهای محیطی، شاخص WBGT و دمای عمقی (دهانی و تمپان) در سه شرایط محیط روباز، محیط مسقف و محل استراحت گردید. شاخص P4SR نیز از طریق معادلات و نمودارهای مربوطه تعیین شد.

یافته‌ها: مطالعه ارتباط شاخص‌های فوق با دمای دهانی و پرده صماخ ($37/34 \pm 0/24$) نشان داد که میزان همبستگی آن‌ها معنادار می‌باشد ($p < 0/05$). بررسی معادلات رگرسیون بین شاخص‌های استرس حرارتی و دماهای دهانی و پرده صماخ نشان دادند که بیشترین مقدار R^2 تطبیق شده مربوط به شاخص WBGT با دمای پرده صماخ بود.

نتیجه‌گیری: این تحقیق نشان داد که شاخص‌های استرس حرارتی مورد مطالعه با دماهای عمقی بدن ارتباط معناداری داشتند. از طرفی شاخص WBGT بیشترین دقت را در ارزیابی استرس حرارتی نشان داد.

کلید واژه‌ها: استرس حرارتی، WBGT، P4SR، پایانه نفتی.

مقدمه

شاخص‌های تحلیلی، تجربی و شاخص‌های مستقیم قرار می‌گیرند [۳]. در حال حاضر بیش از ۶۰ شاخص استرس حرارتی وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایبی هستند، تلاش بر این است یک شاخص معتبر و کامل جهت ارزیابی استرس حرارتی ابداع شود که بتواند شرایط محیطی را از لحاظ استرس حرارتی توصیف کند [۴]. میزان تنش حرارتی انسان را می‌توان با اندازه‌گیری دمای عمقی بدن مورد ارزیابی قرار داد، دمای دهانی، دمای پرده صماخ گوش، دمای مقعدی، دمای ادرار از جمله دماهای بدن می‌باشند که می‌توان به عنوان دمای عمقی به آن‌ها استناد کرد [۱، ۵، ۲۷]. با توجه به اهمیتی که اثرات گرما بر روی شاغلین در

شرایط محیطی گرم و مرطوب در بسیاری از مناطق جهان شایع می‌باشد که این شرایط می‌تواند بر سلامت و راندمان افراد موثر باشد [۲]. بنابراین جهت توصیف مناسب شرایط محیطی از لحاظ استرس گرمایی، باید میزان اعتبار شاخص‌های استرس حرارتی مورد استفاده را سنجید [۲]. به هر حال ارزیابی استرس حرارتی و تفسیر استرس برحسب تنش‌های روانی و فیزیولوژیکی پیچیده است. در قرن گذشته تلاش‌های زیادی به منظور ساختن شاخص‌هایی که بتواند میزان استرس حرارتی را بطور رضایت بخش توصیف کند انجام شده است. بسیاری از شاخص‌هایی که پیشنهاد شده‌اند در سه گروه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت کار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. flahtia_mohsen@yahoo.com

۲- (نویسنده مسئول) عضو مرکز تحقیقات بهداشت کار، استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. i-alimohammadi@tums.ac.ir

۳- دانشیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

۵- دانشجوی دکتری عمران محیط زیست دانشگاه آزاد.

مورد سنجش قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که حتی با پاشش آب و افزایش رطوبت محیط استرس گرمایی کارکنان کاهش نیافت [۷]. میاشیتا و همکاران (۲۰۰۶) اثرات بهداشتی ناشی از گرما بر روی کارگران ساختمانی را با استفاده از شاخص WBGT مورد بررسی قرار دادند که در این مطالعه مشخص شد با افزایش مقدار شاخص WBGT میزان فشار خون افراد نیز افزایش یافت [۸]. Parson و Beta (۲۰۰۲) اعلام نمودند که یکی از محدودیت‌های استفاده از شاخص WBGT در ارزیابی استرس حرارتی عدم توجه به پوشش افراد می‌باشد [۹]. Derby (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای که به منظور تعیین اعتبار و دقت شاخص‌های استرس حرارتی و مقایسه آن‌ها انجام داد به این نتیجه رسید که شاخص HSI برای هر نوع وضعیت آب و هوایی جهت مناسب است [۱۰]. در سال ۲۰۰۰ مطالعه‌ای بر روی مواجهه‌ی گرمایی کارکنان یک کارخانه شیشه سازی در منطقه ساحلی هند انجام گرفت که در این مطالعه شاخص‌های WBGT، CET و میانگین دمای تابشی (MRT) برای کارکنان محاسبه شد. میزان شاخص WBGT در این کارخانه بالاتر از حد مجاز استاندارد ACGIH بود که براساس نتایج بدست آمده دوره‌های کار و استراحت برای کارکنان تعیین شد [۱۱]. طی مطالعه‌ای که توسط Wsterlund (۱۹۹۷) انجام و تحت عنوان مروری بر شاخص‌های استرس حرارتی و کاربرد آن در صنایع جنگلی منتشر نموده است، شاخص WBGT در مقایسه با میزان شاخص میزان تعریق مورد نیاز SWreq بعنوان یک شاخص ساده و مناسب معرفی نموده است [۱۲]. مطالعه‌ای که توسط Parker R.D (۱۹۸۴) تحت عنوان مقایسه تکنیک‌های اندازه گیری استرس گرمایی در یک کارخانه فولاد انجام گرفت، نشان داد که بین شاخص‌های WBGT و بوتزمال (WGT) همبستگی بالایی وجود دارد [۱۳]. در داخل کشور نیز مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است. مطالعه‌ای که توسط پورمهابادیان در سال ۱۳۷۸ در یک کارخانه شیشه سازی صورت گرفت، نشان داد که ارتباط مثبتی بین شاخص‌های WBGT، CET و HSI وجود

محیط کار دارد، در این مطالعه چگونگی مواجهه با گرما و میزان تنش گرمایی محیط کار براساس شاخص‌های تجربی WBGT و P4SR روی کارکنان یک پایانه نفتی مورد بررسی قرار گرفت.

شاخص WBGT یک روش رایج برای ارزیابی استرس حرارتی در محیط کار محسوب می‌شود که بر اساس پاسخ‌های فیزیولوژیک انسان به شرایط محیطی طراحی شده است [۲۶]. روش محاسبه این شاخص به شرح زیر می‌باشد:

(۱) محیط روباز

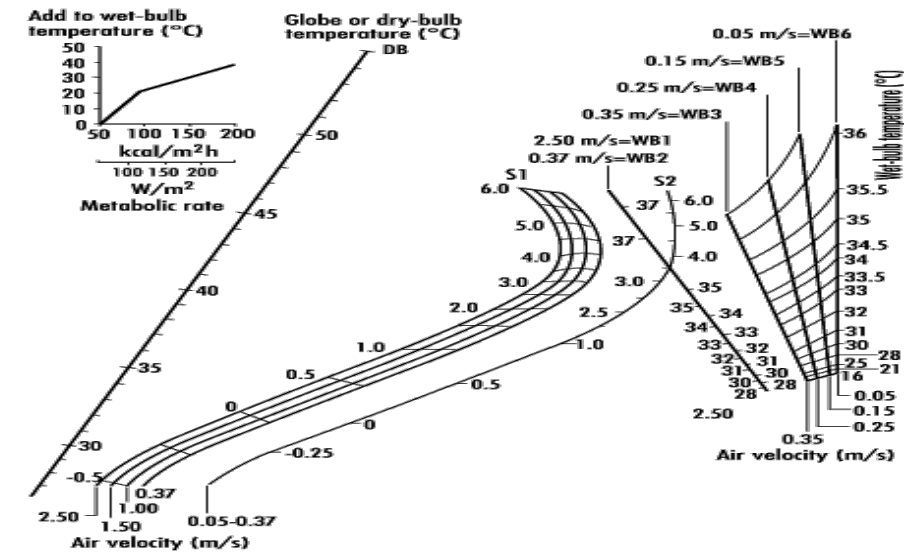
$$WBGT=0.7 T_{wa}+0.2T_g+0.1T_a$$

(۲) محیط مسقف

$$WBGT=0.7 T_{wa}+0.3T_g$$

در معادله ۱ و ۲ T_{wa} ، T_g و T_a به ترتیب دمای تر طبیعی، دمای تابشی و دمای خشک محسوب می‌شوند. شاخص P4SR نیز بر این اساس مطرح گردید که برآورد میزان عرق جهت تعیین میزان استرس کافی است و از نظر ظاهری مقدار آن مساوی مقدار تعریق فرد جوان سازش یافته سالمی است که مدت ۴ ساعت در محیط قرار می‌گیرد. بنابراین استرس جوی با اندازه‌گیری استرین حاصل از آن اندازه گیری می‌شود. این شاخص دمای هوا، دمای متوسط تابشی و سرعت جریان هوا و رطوبت را با میزان متابولیسم و پوشش لباس ترکیب می‌کند در محاسبه شاخص P4SR پارامترهای دمای محیط، دمای تابشی، رطوبت، سرعت و میزان متابولیسم وارد شده و محاسبه نهایی به کمک نمودار صورت می‌گیرد [۱].

مطالعات مختلفی در سطح ایران و جهان در ارتباط با میزان کارایی شاخص‌های تجربی و تحلیلی در برآورد و تعیین استرس گرمایی، انجام شده است که شاخص WBGT شاخصی مناسب جهت ارزیابی سریع وضعیت شرایط جوی محیط شناخته شده است [۵، ۶]. در مطالعه‌ای که توسط فوجی روک و همکاران (۲۰۰۷) در یک کارخانه تولید قطعات فلزی انجام شد میزان استرس حرارتی کارکنان به کمک شاخص WBGT



The nomogram is described in the box on page 42.20 under "III. Predicted 4-hour sweat rate".

شکل ۱- نمودار شاخص B4SR

مقطعی در یک پایانه نفتی می‌باشد که در فصل بهار انجام گردید. در ابتدا چارت سازمانی و واحدهای عملیاتی پایانه نفتی مورد مطالعه قرار گرفت. حجم نمونه در هر واحد بر اساس تعداد کارگران و تنوع سمت‌های شغلی تعیین گردید. در این مطالعه استرس حرارتی ۹۴ کارگر شاغل در یازده واحد عملیاتی شامل واحدهای تعمیرات صنعتی، ترابری، تعمیرات اماکن، HSE، اسکله T، اسکله آذریاد، آزمایشگاه، عملیات دریایی، عملیات و صادرات، حراست و خدمات و پشتیبانی مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت.

پس از انتخاب نمونه‌های مورد نظر پارامترهای محیطی (دمای خشک، دمای تر، دمای تشعشعی، رطوبت نسبی، فشاربخار آب و سرعت جریان هوا) و پارامترهای فیزیولوژیکی (دمای دهانی، پرده صماغ- tympanic temperature) برای هریک از کارکنان در سه محیط روباز، محیط مسقف و محیط استراحت با توجه به شرایط کاری آن‌ها اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری پارامترهای محیطی از WBGT meter و دیجیتال مدل MK-42VJY ساخت شرکت Casella و رطوبت سنج چرخان مدل Casella و آنومومتر حرارتی مدل ۵۰VT ساخت شرکت Kimo استفاده شد. برای اندازه‌گیری دمای دهانی از دماسنج طبی مدل 12PCS

دارد، اما ارتباط شاخص AET با دیگر شاخص‌ها منفی بود [۱۴]. مطالعه کلانتری (۱۳۸۳) نشان داد که شاخص P4SR با تمامی متغیرهای محیطی و فیزیولوژیکی رابطه معنادار داشت و بعد از شاخص P4SR، شاخص WBGT بیشترین همبستگی را نشان داد [۱۵]. در مطالعه‌ای که توسط گلمحمدی (۱۳۸۳) انجام گرفت ارتباط مثبتی بین شاخص WBGT و HSI بدست آمد و همچنین نتیجه گرفته شد که وابستگی شاخص HSI به سرعت جریان هوا بالاست بنابراین نسبت به شاخص WBGT از اعتبار پایین‌تری برخوردار است [۱۶]. نقیب در سال ۱۳۷۶ نشان داد که در معدن روباز همبستگی خوبی بین شاخص WBGT و شاخص‌های فیزیولوژیکی وجود دارد؛ در حالی که در معدن زیر زمینی بین شاخص WBGT و شاخص‌های فیزیولوژیکی همبستگی ضعیفی وجود داشت [۱۷].

هدف از انجام این مطالعه ارزشیابی تنش حرارتی و مطالعه میزان اعتبار و دقت شاخص‌های استرس حرارتی WBGT و P4SR با استفاده از دمای دهانی و دمای پرده صماغ (Tympanic) می‌باشد.

روش بررسی

مطالعه حاضر یک پژوهش توصیفی-تحلیلی و

جدول ۱- مقادیر میانگین پارامترهای محیطی، فیزیولوژیکی و شاخص‌های استرس حرارتی در شرایط محیطی مختلف

محیط استراحت		اختلاف میانگین		محیط روباز		محیط مسقف		محیط کار	پارامترهای اندازه‌گیری شده
انحراف	میانگین	تعداد	p- value	انحراف	میانگین	تعداد	انحراف	میانگین	تعداد
معیار				معیار			معیار		
۰/۹۴	۲۴/۳۷	۹۴	۰/۰۰۰	۵/۰۴	۳۴/۸۵	۹۴	۹۵/۴	۲/۳۰	۹۴
۱/۳۴	۱۹/۲۴	۹۴	۰/۰۰۰	۳/۵۴	۹/۲۶	۹۴	۹۹/۳	۲۳/۲۴	۹۴
۰/۹۷	۲۴/۴۶	۹۴	۰/۰۰۰	۶/۶۴	۳۸/۱۶	۹۴	۷۵/۵	۰۶/۳۲	۹۴
۰/۰۳۴	۰/۱۵	۹۴	۰/۰۰۰	۱/۱۶	۳۹/۱	۹۴	۱۵/۱	۶۰/۰	۹۴
۴/۰۷	۵۸/۶۳	۹۴	۰/۰۰۴	۱۹/۲۸	۵۴/۶۶	۹۴	۱۵/۸۵	۰۳/۶۰	۹۴
۱/۷	۱۴/۴	۹۴	۰/۰۱۰	۶/۶۲	۲۲/۶۶	۹۴	۵۸/۵	۲۵/۲۰	۹۴
۱/۱۹	۲۰/۸	۹۴	۰/۰۰۰	۳/۵۱	۲۹/۷۶	۹۴	۲۹/۴	۱۹/۲۶	۹۴
۰/۲۱	۰/۰۹۱	۹۴	۰/۰۰۰	۱/۵۴	۲/۷۵	۹۴	۱/۵۸	۱/۴۵	۹۴
۰/۰	۰/۱۵	۹۴	-	۰/۰۶	۰/۶۱	۹۴	۰/۰۶	۰/۶۱	۹۴
۰/۲۸	۳۷	۹۴	۰/۰۳۴	۰/۳۹	۳۷/۳۳	۹۴	۰/۲۷	۳۷/۲۹	۹۴
۰/۲۹	۳۷/۱	۹۴	۰/۰۲۳	۰/۲۹	۳۷/۵۷	۹۴	۰/۳۱	۳۷/۴۲	۹۴
سبک		۹۴		متوسط		۹۴	متوسط		۹۴
۳۳(۳۲)		۹۴		۲۸(۲۶)		۹۴	۲۸(۲۶)		۹۴

عدد داخل پرانتز حجم‌جاز برای افراد سازش نیافته می باشد.

(۳)

$$M_{TWA} = \frac{(M_1 \times T_1) + (M_2 \times T_2) + \dots + (M_N \times T_N)}{T_1 + T_2 + \dots + T_N}$$

برای محاسبه شاخص WBGT از دستگاه WBGT meter مطابق با استاندارد ISO7243 استفاده شد. برای تعیین میزان B4SR از شکل ۱ و برای تعیین میزان P4SR از معادله ۴ استفاده شد. نوع لباس از نظر پوشش (آستین بلند و یا کوتاه) و میزان کلوی آن از جداول ارائه شده در (E) ۱۹۹۵: ISO ۹۹۲۰ تحت عنوان "برآورد عایق حرارتی و مقاومت تبخیری پوشش‌های فردی" برآورد و ثبت گردید [۲۷].

(۴)

$$P4SR = B4SR + \frac{0/37}{Clo} + (0/012 + \frac{0/001}{Clo})(m - 63)$$

پس از محاسبه شاخص‌های WBGT و P4SR در

و جهت اندازه‌گیری دمای پرده صماخ از دماسنج دیجیتالی مدل Centel temp 510 ساخت شرکت Omron استفاده شد. اندازه‌گیری پارامترهای محیطی در هر ایستگاه کاری بمدت ۲۰ دقیقه در دو زمان صبح و بعدازظهر انجام گرفت. اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیک نیز همزمان با اندازه‌گیری پارامترهای محیطی صورت گرفت. نحوه اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیک به این صورت بود که جهت سنجش دمای دهانی به کارگر اعلام شد نیم ساعت قبل از اندازه‌گیری از خوردن، آشامیدن و کشیدن سیگار خودداری کند و همچنین قبل از اندازه‌گیری دمای پرده صماخ از طریق معاینه و بررسی پرونده پزشکی هر کدام از نمونه‌ها از سالم بودن گوش و عدم عفونت اطمینان حاصل می‌گردید. میزان متابولیسم افراد در طول شیفت کاری به وسیله جدول استاندارد ISO-8996 [۵] تعیین شد. سپس با استفاده از معادله (۳) میانگین متابولیسم کاری در طول شیفت کاری برای هریک از کارکنان محاسبه گردید.

[۲۶]. میزان شاخص $P4SR_{TWA}$ در محیط روباز و محیط مسقف پایین‌تر از حد مجاز توصیه شده می‌باشد. حدود مجاز ذکر شده جهت شاخص $P4SR$ برای یک فرد سازش یافته جوان با لباس دارای حدکثر 2.71 Clo مقاومت حرارتی، 4.5 لیتر توصیه می‌شود.

جدول ۲ میانگین پارامترهای فیزیولوژیکی و متابولیسم فعالیت افراد سازش یافته را در محیط مسقف و روباز نشان می‌دهد. دمای دهانی و دمای پرده صماخ در محیط مسقف و روباز باهم اختلاف معناداری دارند ($p < 0.05$) در حالی که متابولیسم فعالیت افراد در محیط مسقف و روباز در محدوده متوسط قرار دارد (ISO8996). نتایج آزمون paired sample T-test جهت مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیولوژیکی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۳ میانگین پارامترهای فیزیولوژیکی و متابولیسم فعالیت افراد سازش نیافته را در محیط مسقف و روباز نشان می‌دهد. دمای دهانی و دمای پرده صماخ در محیط مسقف و روباز باهم اختلاف معناداری دارند ($p < 0.05$) در حالی که متابولیسم فعالیت افراد در محیط مسقف و روباز در محدوده متوسط قرار دارد (ISO8996). نتایج آزمون paired sample T-test جهت مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیولوژیکی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۴ آزمون همبستگی پیرسون ($2\text{Tailed } t\text{-test}$) بین شاخص‌های استرس حرارتی با یکدیگر و همچنین همبستگی بین شاخص‌ها با پارامترهای

محیط‌های مسقف، روباز و محیط استراحت میانگین وزنی- زمانی این شاخص‌ها طبق معادله ۵ محاسبه گردید.
(۵)

$$\text{Index}_{TWA} = (\text{Index}_{TWA1} \times T_1) + (\text{Index}_{TWA2} \times T_2) + \dots + (\text{Index}_{TWA_n} \times T_n) / T_1 + T_2 + \dots + T_n$$

پس از محاسبه شاخص‌های $P4SR$ و $WBGT$ استفاده از نرم افزار SPSS version 18 و Excel میزان همبستگی بین شاخص‌ها و پارامترهای فیزیولوژیکی تعیین شد.

یافته‌ها

جدول ۱ میانگین و انحراف معیار پارامترهای محیطی، فیزیولوژیکی و شاخص‌های استرس حرارتی در سه شرایط محیطی مسقف، روباز و استراحت نشان می‌دهد. در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد که بین میانگین پارامترهای جوی در محیط مسقف و روباز اختلاف معناداری وجود دارد ($p < 0.05$). همچنین میانگین شاخص‌های $P4SR$ و $WBGT$ در محیط مسقف و روباز باهم اختلاف معناداری دارند ($p < 0.05$). میزان شاخص $WBGT_{TWA}$ در محیط مسقف نسبت به حد مجاز توصیه شده توسط ISO ۲۲۴۳ کمتر بود در حالی که در محیط روباز بالاتر از حد استاندارد ISO 7243 با متابولیسم فعالیت متوسط بود

جدول ۲- میانگین پارامترهای فیزیولوژیک و متابولیسم اندازه‌گیری شده افراد سازش یافته در محیط کار

متغیر	محیط مورد مطالعه	حجم نمونه	میانگین	انحراف معیار	مقدار p	نتایج تحلیل آماری
دمای دهانی (c^0)	محیط مسقف	۵۳	۳۷/۴۰	۰/۲۶	۰/۰۰۰	اختلاف معناداری وجود دارد
	محیط روباز	۵۳	۳۷/۶۲	۰/۲۴		
دمای گوش (تمپنیک) (c^0)	محیط مسقف	۵۳	۳۷/۵۱	۰/۲۸	۰/۰۰۰	اختلاف معناداری وجود دارد
	محیط روباز	۵۳	۳۷/۷۷	۰/۳۰		
متابولیسم (w/m^2)	محیط مسقف	۵۳	۱۴۱/۶۹	۳۳/۹۵	۰/۲۲۹	اختلاف معناداری وجود ندارد
	محیط روباز	۵۳	۱۴۷/۸۳	۳۴/۰۸		

جدول ۳- میانگین پارامترهای فیزیولوژیک و متابولیسم اندازه‌گیری شده افراد سازش نیافته در محیط کار

متغیر	محیط مورد مطالعه	حجم نمونه	میانگین	انحراف معیار	مقدار P	نتایج تحلیل آماری
دمای دهانی (C^0)	محیط مسقف	۴۱	۳۷/۵۴	۰/۲۵	۰/۰۰۰	اختلاف معناداری وجود دارد
	محیط روباز	۴۱	۳۷/۶۹	۰/۲۸		
دمای گوش (تمپانیک) (C^0)	محیط مسقف	۴۱	۳۷/۶۶	۰/۲۷	۰/۰۰۰	اختلاف معناداری وجود دارد
	محیط روباز	۴۱	۳۷/۸۷	۰/۳۰		
متابولیسم	محیط مسقف	۴۱	۱۴۵/۹۷	۳۶/۳۱	۰/۸۰۰	اختلاف معناداری وجود ندارد
	محیط روباز	۴۱	۱۴۴/۳۹	۳۳/۸۹		

جدول ۴- همبستگی پیرسن بین شاخص‌های استرس حرارتی و پارامترهای فیزیولوژیکی

	P4SR		WBGT		
	R ²	P-value	R ²	P-value	
دمای دهانی	۰/۵۴۲	۰/۰۵<	۰/۵۷۱	۰/۰۵<	WBGT
دمای پرده صماخ	۰/۴۹۹	۰/۰۵<	۰/۵۰۴	۰/۰۵<	P4SR
دمای دهانی	۰/۹۰۵	۰/۰۵<	۱	-	دمای پرده صماخ
دمای دهانی	۱	-	۰/۹۰۵	۰/۰۵<	دمای دهانی

همبستگی بین این دو شاخص خطی می‌باشد. ضریب همبستگی بین این دو شاخص برابر $R^2=0.613$ می‌باشد شکل ۷ نیز همبستگی بین دمای دهانی و دمای پرده صماخ را نشان می‌دهد ملاحظه می‌گردد که همبستگی خطی خوبی بین دو پارامتر فیزیولوژیکی برخوردار می‌باشد.

بحث و نتیجه گیری

مطالعات گذشته نشان داده‌اند که شاخص دمای تر گوپسان (WBGT) یک شاخص اصلی و مناسب جهت تعیین استرس گرمایی می‌باشد [۱۹ و ۲۰]. همچنین P4SR نیز به عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی تنش حرارتی کارکنان در محیط‌های گرم و مرطوب شناخته شده است [۱]. در این مطالعه برای تعیین شاخص بهینه از بین شاخص‌های WBGT و P4SR، دمای عمقی بدن به عنوان مینا و بهترین پارامتر فیزیولوژیک نمایانگر استرس حرارتی استفاده شد. برخی از مطالعات (Perry و همکاران ۱۹۹۹) [۲۲]، (Mei-Lien Chen و همکاران ۲۰۰۳) [۱۲]، (نقیب و همکاران ۱۳۷۶) [۱۷] و (کلاتتری ۱۳۸۶) [۱۵] دمای

فیزیولوژیکی را نشان می‌دهد. در این جدول ملاحظه می‌گردد همه شاخص‌ها و پارامترهای فیزیولوژیکی دارای همبستگی معناداری با یکدیگر می‌باشند ($p < 0.05$).

همبستگی بین شاخص WBGT و پارامترهای فیزیولوژیکی (دمای دهانی و دمای پرده صماخ) معنی دار است ($p < 0.05$). اشکال ۲ و ۳ میزان همبستگی شاخص WBGT با دمای دهانی و دمای پرده صماخ را نشان می‌دهد. میزان همبستگی بین شاخص WBGT با دمای دهانی و دمای پرده صماخ بترتیب برابر می‌باشد. ($R^2=0.571$) و ($R^2=0.543$).

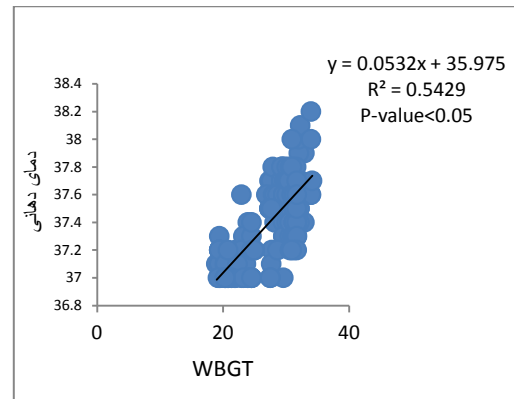
همبستگی بین شاخص P4SR و پارامترهای فیزیولوژیکی (دمای دهانی و دمای پرده صماخ) معنادار است ($p < 0.05$). اشکال ۴ و ۵ میزان همبستگی شاخص P4SR با دمای دهانی و دمای پرده صماخ را نشان می‌دهد. میزان همبستگی بین شاخص WBGT با دمای دهانی و دمای پرده صماخ بترتیب برابر ($R^2=0.499$) و ($R^2=0.504$) می‌باشد.

شکل ۶ همبستگی بین شاخص‌های WBGT و P4SR را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که

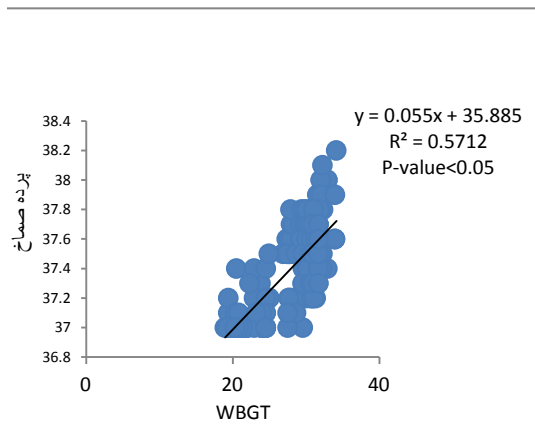
رو باز با یکدیگر تفاوت معنی داری داشتند که این بیانگر شرایط جوی متفاوت در دو محیط کاری فوق-الذکر می‌باشد. این یافته با نتایج حاصل از تحقیقات Frank (۱۹۹۶) و Moran (۱۹۹۸) شاخص را بر اساس دمای عمقی و ضربان قلب ارائه دادند [۲۳ و ۲۴]. همان گونه که ذکر شد تفاوت دمای عمقی بدن در دو محیط مسقف و روباز به دلیل تفاوت پارامترهای محیطی در این دو ناحیه می‌باشد. میانگین پارامترهای محیطی دمای هوا، دمای گوی‌سان، دمای تر طبیعی، فشار بخار آب، سرعت جریان هوا و رطوبت نسبی در محیط روباز بیشتر از محیط مسقف بود (جدول ۱). این نتایج با یافته‌های تحقیق Mei-Lien Chen (2003) و نقیب (1376) مطابقت دارد [۲۲، ۱۷].

علیرغم اهمیت زیاد بار کاری در ایجاد استرس حرارتی، مرور جداول ۲ و ۳ نشان می‌دهد که تفاوت میزان دمای عمقی بدن در محیط‌های مسقف و روباز تنها تحت تاثیر شرایط جوی می‌باشد و بار کاری تأثیری روی این تفاوت ندارد. میزان بار کاری افراد مورد بررسی در دو محیط مسقف و روباز تفاوت معناداری با یکدیگر نشان ندادند ($p > 0.05$) (جدول ۲ و ۳). نتایج تحقیقات L.Luecke (۲۰۰۶) نشان می‌دهد که در صورت ثابت بودن میزان بار کاری، افزایش دمای هوا و دمای تابشی موجب افزایش دمای عمقی بدن می‌گردد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد [۲۵].

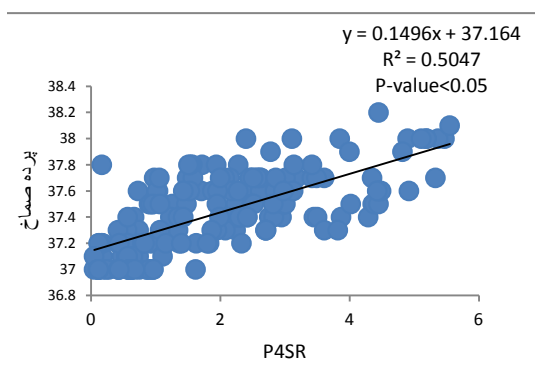
این تحقیق نشان داد که شاخص‌های WBGT و P4SR با دمای عمقی بدن (دمای پرده صماخ و دمای دهانی) و نیز با یکدیگر همبستگی معناداری داشتند (اشکال ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷). به عبارت دیگر با افزایش شاخص‌های WBGT و P4SR میزان دمای عمقی بدن و یا میزان استرس حرارتی افزایش یافته است که نمایانگر متناسب بودن این شاخص‌ها برای ارزیابی استرس حرارتی در محیط مورد نظر می‌باشد؛ اما معادلات رگرسیون بین دمای پرده صماخ و شاخص‌های مورد بررسی نشان دادند که



شکل ۲ - نمودار رگرسیون بین شاخص WBGT و دمای پرده صماخ



شکل ۳ - نمودار رگرسیون بین شاخص WBGT و دمای دهانی افراد



شکل ۴ - نمودار رگرسیون بین شاخص P4SR و دمای پرده صماخ

عمقی بدن را بهترین پارامتر برای تعیین استرس حرارتی مورد تایید قرار داده‌اند. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که میزان دمای عمقی بدن در محیط مسقف و

از طرفی معادلات رگرسیون فوق‌الذکر نشان می‌دهند که همبستگی بین دمای پرده صماخ و شاخص‌های استرس حرارتی مورد مطالعه نسبت به دمای دهانی بیشتر می‌باشد. به بیان دیگر می‌توان نتیجه گرفت که دمای پرده صماخ در مقایسه با دمای دهانی شاخص فیزیولوژیک مناسبتری برای تعیین استرس حرارتی می‌باشد.

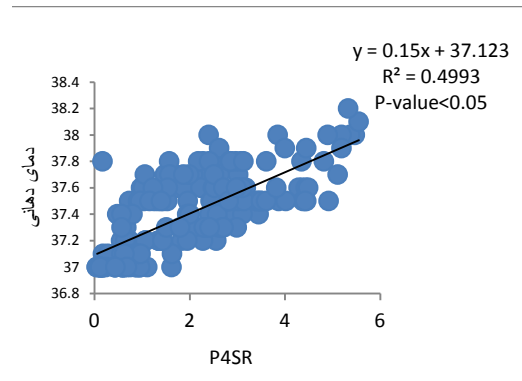
با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق شاخص‌های WBGT و P4SR ابزار قابل اعتمادی برای ارزیابی تنش حرارتی محیط کار می‌باشد اگرچه شاخص WBGT از اعتبار بیشتری برخوردار بود. علاوه بر این پژوهش حاضر نشان داد که دمای پرده صماخ در مقایسه با دمای دهانی بیشتر نشان دهنده دمای عمقی بدن و تنش‌های حرارتی می‌باشد.

تقدیر و تشکر

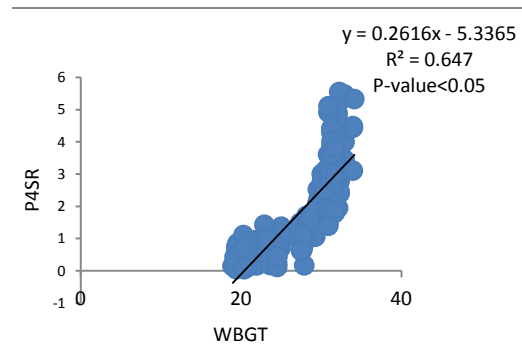
مجربان طرح بر خود واجب می‌دانند تا از کلیه کارکنان پایانه نفتی و کارکنان واحد HSE و پژوهش و توسعه خصوصاً آقایان مهندس مهدی حاج حسین‌زاده، مهندس شیرانی و مهندس قیژان‌زاده تقدیر و تشکر به عمل آورند.

منابع

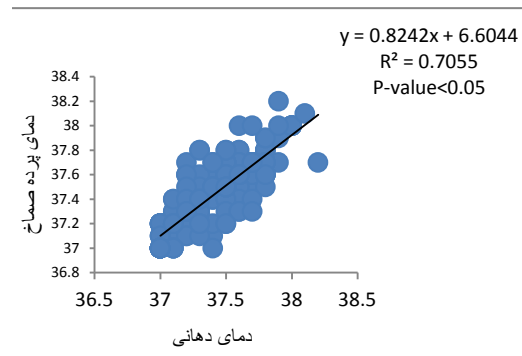
1. Golbabaïy F. Omidvari, Manocher. "Human and heat strain for workplace" Tehran University Publication, 2002.
2. Daniel S. MORAN and Yoram EPSTEIN "Evaluation of the Environmental Stress Index (ESI) for Hot/Dry and Hot/Wet Climates" Industrial Health 2006, 44, 399-403, Received February 13, 2006 and accepted April 14, 2006.
3. Yoram E & Daniels M. Thermal comfort and the health stress indice, april 13, 2006.
4. Rick B, Grahan B. Avalid method for comparing Rational and empirical Heat stress indice. Ann. occp. Hyg. Vol 46, No1, pp165-174, 2002.
5. ISO 8996-2001 Ergonomics of the thermal environment determination of metabolic heat production.



شکل ۵- نمودار رگرسیون بین شاخص P4SR و دمای دهانی افراد



شکل ۶- نمودار رگرسیون بین شاخص‌های WBGT و P4SR



شکل ۷- نمودار رگرسیون بین دمای دهانی و دمای پرده صماخ

شاخص WBGT ($R^2=0.571$) نسبت به شاخص P4SR ($R^2 = 0.504$) از قدرت پیش‌بینی مناسبتری برای ارزیابی استرس حرارتی برخوردار است. علاوه بر این معادلات رگرسیون بین دمای دهانی و شاخص‌های مورد نظر مجدداً این یافته را تایید می‌کند (اشکال ۳ و ۵).

20. American Conference of Governmental Industrial Hygienist, threshold limit values for chemical substance and physical agents and biological exposure indices, heat stress and heat strain, ACGIH. 2005:181-88.
21. Mei LC, Chiu JC, Wen YY, Ju WH. "Heat stress evaluation and worker fatigue in a steel plant" *AIHA* 64:352-359(2003).
22. Perry WL, Tomas EB. "Heat stress and strain in an aluminum smelter" *AIHA* 60:659-665(1999).
23. 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 Volume: 84pp. 527-532.
24. Moran DM, Shitzer A, Pandolf K. "A physiological strain index to evaluate heat stress" *American Journal of Physiology Regulatory Integrative Comp Physiology* 1998 Volume: 275 pp.129-134.
25. Christian LL. "Gender differences during heat strain at critical WBGT" 2006.
26. ISO 7243: 1989 Heat. Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT- INDEX (wet bulb globe temperature).
27. Parson K. *Human Thermal Environment*, Second edition published 2003 by Taylor & Francis 11 New Fetter Lane, London EC4P 4EE Simultaneously published in the USA and Canada by Taylor & Francis Inc, 29 West 35th Street, New York, NY 10001.
6. ISO 9920- 1995 Ergonomics of the thermal environment estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble.
7. Fujii RK, Horie S, Tsutsui T, Nagano C. Heat exposure control using non-refrigerated water in Brazilian steel factory workers" *Industrial Health* Jan 2007 Volume: 45 Issue: 1 pp.100-106.
8. Morioka I, Miyai N, Miyashita K. Hot environment and health problems of outdoor workers at a construction site" , *Industrial Health* Jul 2006 Volume: 44 Issue: 3 pp. 474-480.
9. Betha D, Parson k. The development of practical heat stress assessment methodology for use in uk industry:http// www.hse.gov.uk/ research/rrpdf/rr008.pdf:2002.
10. Derby W. The development of warm weather relative comfort index for environment analysis. University of Delaware, 2001.
11. Yaglou P, Minard D. Control of heat casualties at military training camps.*Am AArch Ind health* ,1957, 16,302-16.
12. Wasterlund DS. A review of heat stress research with application to forestry, *Applied ergonomics* Vol 29, No 3, pp. 179-183, 1998.
13. Parker RD, Pierce FD. Comparison of heat stress measuring techniques in steelmill, *American Industrial Hygiene Association journal*, Jan 1984.
14. Pourmahabadian M, Adelkhal M, Azam K. Heat Exposure Assessment in the Working Environment of a Glass Manufacturing Unit, Department of Occupational Health, School of public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, 2008.
15. Klantare A, Sadeghi aliabadi MR. "Evaluation and validation of heat stress indices in a single casting Mobarakeh Steel" National congress of occupational health & safety 2007.
16. Golmohamadi and et al. "Comparison of HSI and WBGT heat stress index of Hamadan city bakery" National congress of occupational health & safety.2004.
17. Naghibe, A. 'Evaluation of thermal stress on lead and zinc mine and the determine model for predicting the amount of workers tolerating" M.Sc. Thesis, Tehran University, 1996.
18. Stern M. B, *Application & Computational Elements of Industrial Hygiene*: CRC: pp: 555-582: 1999.
19. Bhanarkari AD, Srivastava A , Joseph AE, Kumar R. Air Pollution and heat exposure study in the workplace in a glass manufacturing Unit in India. *Environ. Monit. Assess.* 2005:109(1-3): 73-80.

Archive of SID

Evaluating the reliability of WBGT and P4SR by comparison to core body temperature

M.Falahati¹, I.Alimohammadi², A.A Farshad³, M.Zokaei⁴, A.Sardar⁵

Received: 2011/09/03

Revised: 2011/10/12

Accepted: 2012/01/31

Abstract

Background and aims: Hot and humid conditions are common in many parts of the world; these conditions can influence both the health and performance of individuals. Therefore to describe the environmental conditions appropriately, the amount of reliability of heat stress indices should be measured. The aim of this study was evaluating the reliability of WBGT and P4SR by comparison to core body temperature in an Oil Terminal.

Methods: The participants (94 persons) were two groups of acclimatized and not acclimatized employees of different units of the Oil Terminal. After identifying the units and their activities, air and wet temperatures, WBGT, and core body temperature (oral and tympanic) were measured in three situations including outdoor, indoor, and rest activities.

Results: The statistically significant correlation was found between above mentioned heat stress indices with oral and tympanic temperatures ($p < 0.05$). The regression equations were shown that the most determinant coefficient belong to WBGT and tympanic temperature ($R^2 = 0.571$).

Conclusion: It was found that the WBGT and P4SR with core body temperature had significant correlations and WBGT had the most accuracy to predict heat stress in employees.

Keywords: Heat stress, WBGT, P4SR, Oil terminal.

1. Occupational health research center, Student of occupational Health, Tehran University of medical sciences, Tehran, Iran.

2. (**Corresponding author**) Occupational health research center, Faculty of Health, Tehran University of medical sciences, Tehran, Iran. I-Alimohammadi@tums.ac.ir

3. Occupational health research center, Tehran University of medical sciences, Tehran, Iran.

4. Occupational health research center, Student of occupational Health, Tehran University of medical sciences, Tehran, Iran.

5. PhD Student of Civil and Environmental Engineering.