

بررسی انطباق دو شاخص دمای تر گویسان (WBGT) و استرین گرمایی پیش بینی شده (PHS) در ارزیابی شرایط گرمای محیطی و بار گرمایی تحمیل شده به افراد: مطالعه موردی در کارگران نانوائی ها

وحید غریبی^۱، ابولفضل محمدبیگی^۲، مهدی اسدی قاهری^۲، حمیدرضا حیدری^{۴*}

^۱ مرکز تحقیقات سلامت محیط و کار، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران

^۲ گروه اپیدمیولوژی و آمار حیاتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

^۳ گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

^۴ گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۴

چکیده

مقدمه: این مطالعه با هدف اصلی بررسی انطباق دو شاخص دمای تر گویسان (WBGT) و استرین گرمایی پیش بینی شده (PHS) در ارزیابی شرایط گرمای محیطی و بار گرمایی تحمیل شده به افراد طراحی و به اجرا درآمد.

روش کار: در این مطالعه مقطعی، ۱۶۳ کارگر نانوا وارد مطالعه شدند. استرس های حرارتی با استفاده از شاخص دمای تر گویسان WBGT و شاخص استرین گرمایی پیش بینی شده (PHS)، تعیین گردید. همزمان با ارزیابی استرس های حرارتی، پاسخ های فیزیولوژیک افراد شامل دمای تیمپانیک، ضربان قلب و میانگین دمای پوست ثبت گردید. در نهایت استرین های گرمایی پیش بینی شده بر اساس دو خروجی مهم مدل PHS شامل کل آب از دست رفته و دمای عمقی مورد ارزیابی قرار گرفت و ضمن مقایسه شاخص PHS با WBGT، مقادیر واقعی و پیش بینی شده دمای عمقی نیز مورد مقایسه و آنالیز قرار گرفت.

یافته ها: بر اساس نتایج بدست آمده در مقایسه با دمای گوش، شاخص WBGT شرایط را کمتر از واقع و PHS شرایط را بیشتر از واقع برآورد می کند. همچنین شاخص WBGT با دمای عمقی گوش و نیز مولفه دمای رکتال پیش بینی شده شاخص PHS دارای بیشترین تطابق می باشد (مقدار Kappa به ترتیب برابر ۰/۶۱۴ و ۰/۶۴۰). در حالیکه مقدار Kappa بین میزان آب از دست رفته و شاخص WBGT، حاکی از عدم تطابق مناسب می باشد (Kappa = ۰/۳۳۹).

نتیجه گیری: پیش بینی وضعیت استرین های گرمایی صرفاً بر اساس شاخص PHS نمی تواند بازگو کننده بار گرمایی واقعی وارد بر افراد در محیط های حرارتی همچون نانوائی ها باشد و با برآورد بیشتر از واقع همراه است. عبارتی دیگر، این شاخص بیشتر برای محیط های حرارتی داخلی پایا و با حداقل تغییرات در فاکتور های فردی و محیطی تاثیر گذار در استرس های حرارتی مناسب می باشد.

کلمات کلیدی: تعریق، دمای گوش، استرس گرمایی، PHS، WBGT

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: hr.heidari.tums@gmail.com

غذایی کم نمک، پوشش نامناسب لباس کار می تواند در ابتلا به اختلالات ناشی از گرما نقش تشدید کننده داشته باشند (۸).

به منظور ارزیابی شرایط گرمایی محیط های کار و تنش وارد به افراد، شاخص های حرارتی بسیاری در طول سالیان زیاد ارائه و مورد استفاده قرار گرفته شده اند (۹-۱۳). علیرغم مبنای این نوع شاخص ها که می تواند تحلیلی و یا تجربی باشد، همه آنها به دنبال آن هستند که با ترکیب فاکتور های محیطی و فردی موثر در استرس های حرارتی، مقادیری را ارائه نمایند که به شکل مطلوبی بازگو کننده شرایط گرمایی محیط و بار حرارتی وارد بر فرد باشند (۱۴). از اینرو، اعتبار یک شاخص وابسته به آن است که تا چه اندازه می تواند به خوبی و یا با قابلیت اطمینان بالایی بازگو کننده استرس گرمایی وارده بر بدن انسان باشد و یا چگونه با استرس های بدن مرتبط است (۹). یکی از شاخص های استاندارد و پر کاربرد در زمینه استرس های گرمایی، شاخص دمای تر گویسان (WBGT) است. این شاخص توسط یاگلو و مینارد در سال ۱۹۵۷ ارائه شده (۱۵) و توسط استاندارد ISO ۷۲۴۳، ۱۹۸۹ مورد تایید قرار گرفته است (۱۶). اما علیرغم رایج بودن و محبوبیت عام شاخص WBGT (۱۷)، این شاخص به عنوان شاخص استرس گرمایی ایده آل برای شرایط کاری فردی محسوب نمی شود (۱۸، ۱۹) و گزینه های دیگری برای این منظور پیشنهاد شده است که از جمله می توان به شاخص میزان تعریق مورد نیاز (SWreq) (۲۰)، شاخص استرس گرمایی پیش بینی شده (PHS) (۲۱) و حد کار حرارتی (TWL) (۲۲-۲۳) اشاره نمود. شاخص های اخیر که همگی تحلیلی بوده و مبنای ایجاد آنها نحوه تبادلات حرارتی بدن انسان با محیط و معادله حرارتی بدن انسان می باشد، بازگو کننده استرس های گرمایی وارده بر بدن همچون افزایش دمای عمقی، میزان آب از دست رفته و تعریق و بار گرمایی وارد بر فرد را در شرایط مواجهه با گرما نشان می دهند.

از بین شاخص های فوق شاخص PHS همچون

استرس های گرمایی در محیط های کار یکی از عوامل تاثیر گذار بر شرایط کاری و سلامت شاغلین است که در بسیاری از مشاغل و بویژه در فصول گرم سال به شکل عاملی زیان آور نمود می نماید (۱). استرس گرمایی به شرایطی اطلاق می شود که برابند فاکتورهای محیطی و فردی موثر در ایجاد تنش گرمایی فراتر از حد تحمل فیزیولوژیک فرد بوده و پاسخ های فیزیولوژیک و ذهنی مشخصی را در پی خواهد داشت (۲). این پاسخ ها که گاه به شکل افزایش دمای عمقی، افزایش تعریق و دهیدراسیون، افزایش دمای سطحی، افزایش فشار خون و ضربان قلب و غیره خود را نشان می دهند (۳)، چنانچه از حد تحمل فیزیولوژیک انسان فراتر روند، و بدن قادر به تنظیم آنها نباشد، عوارض و مشکلاتی را برای فرد در پی خواهند داشت (۴). این پاسخها و نیز پاسخهایی همچون سردرد، سرگیجه، احساس خستگی و بی حالی و غیره به عنوان نشانه هایی از بروز استرس های گرمایی تلقی می شوند.

هنگام فعالیت در محیط کاری گرم، تعریق همراه تبخیر در بدن افزایش یافته که در صورت ادامه یافتن دهیدراسیون اتفاق می افتد (۵). طبق مطالعات انجام گرفته عدم تأمین آب و املاح از دست رفته بدن به علت وجود گرما، عامل اصلی ابتلا به اختلالات ناشی از گرما می باشد که در صورت جایگزینی آب و املاح از دست رفته می توان از بروز ۹۰ درصد این اختلالات پیشگیری نمود (۶).

برخی از این عوارض و اختلالات همچون خستگی و ضعف گرمایی، ساده و موقتی بوده و با کاهش میزان مواجهه و یا قطع تماس با گرما، به راحتی برگشت پذیر است در حالیکه برخی همچون گرمزدگی یک اورژانس پزشکی بوده و چنانچه به موقع مشخص و درمان نشود، ممکن است عواقب جبران ناپذیری را برای فرد به همراه داشته باشد (۷). همچنین برخی از فاکتورهای دیگر همچون چاقی و اضافه وزن، ابتلا به برخی بیمار یهای مزمن، استفاده از برخی داروها، عدم تطابق با گرما، رژیم

و معتبر جهت ارزیابی دقیق تر شرایط حرارتی محیطی و محدودیتها و مزایای ارائه شده برای دو شاخص استاندارد اشاره شده در فوق، این مطالعه با هدف بررسی انطباق دو شاخص WBGT و PHS در تعیین استرس ها و استرین های گرمایی وارد بر نانوایان به عنوان گروهی از افراد در معرض گرما که در همه فصول سال بویژه در فصل گرما در معرض استرس های گرمایی هستند، طراحی و به مرحله اجرا در آمده است. همچنین با توجه به اهمیت پاسخ های فیزیولوژیک و مقایسه مقادیر برآورد شده توسط شاخص PHS، پاسخهای فیزیولوژیک واقعی افراد نیز بطور مستقیم اندازه گیری گردید تا میزان استرین های حرارتی واقعی و پیش بینی شده مورد مقایسه قرار گیرد.

روش کار

در این مطالعه مقطعی، جامعه مورد مطالعه شامل کارگران شاغل در بخش های مختلف نانوائی های سطح شهر شاهرود بود. معیار ورود به مطالعه شامل داشتن سابقه کاری حداقل یک سال و کار تمام وقت بود. معیار خروج نیز شامل ابتلا به بیماری ها از جمله فشار خون و ناراحتی قلبی و تب و نیز وجود واکس گوش در مجرای گوش بود که از طریق مشاهده و بررسی علائمی همچون احساس درد و یا گرفتگی در گوش و سرگیجه، وجود آن تشخیص داده می شد. بطور کل ۹۵ واحد نانوائی شامل ۲۷۰ کارگر نانوا در شهر فعال بودند که در مجموع ۷۴ واحد نانوائی و ۱۶۳ کارگر نانوا با در نظر گرفتن معیار ورود، خروج و امضای رضایت کتبی وارد مطالعه شدند. افراد نمونه شامل تمام کارگران نانوائی ها است که در بخش های مختلف نانوائی مشغول به کار هستند و شامل کارگر پیشکار، کارگر خمیر گیر و چانه گیر، چونه پهن کن یا وردنه زن، شاطر و نان درآر می باشند.

به منظور جمع آوری اطلاعات فردی و شغلی از پرسشنامه دموگرافیک استفاده شد. این پرسشنامه حاوی سوالاتی در خصوص سن، قد، وزن، سابقه کاری، نوع وظیفه و لباس افراد برای تعیین میزان کلو بود که به

شاخص WBGT دارای تاییدیه سازمان بین المللی استاندارد (۲۰۰۴، ۷۹۳۳-ISO) می باشد (۲۴). این شاخص با پیش بینی دمای عمقی رکتال و میزان تعریق و آب از دست رفته بدن، قادر به تعیین میزان مجاز زمان مواجهه با گرما می باشد. برخلاف شاخص WBGT محاسبه این شاخص بسیار پیچیده و بدون کامپیوتر و نرم افزار مربوطه امکان پذیر نمی باشد (۱۴). علیرغم اهمیت بالای تعیین پاسخ های فیزیولوژیک در ارزیابی های گرمایی، تعیین این نوع پارامترها همچون میزان تعریق، دمای عمقی، دمای سطحی، ضربان قلب، فشار خون و کل آب از دست رفته از بدن نیازمند تخصص، تجربه و دقت بالایی بوده و وابسته به وسایل سنجش مربوطه است که عملاً اندازه گیری آنها در محیط های کار و توسط افراد غیر متخصص، غیر ممکن است و یا با خطای بسیاری همراه خواهد بود (۲۵). از سوی دیگر پیشگیری از استرس های گرمایی و کنترل آن یکی از موضوعات مهم و مورد علاقه بسیاری از پژوهشگران و متخصصین حوزه بهداشت شغلی بویژه از منظر شناسایی سطح هشدار دهندگی عوارض ناشی از گرما، موضوعات مرتبط با هزینه های مالی، غرامت ها و الزامات قانونی است. توجه به پیشگیری و کنترل استرس های گرمایی از هر دو منظر اخلاقی و اقتصادی، مزایای بسیاری شامل کاهش حوادث و عوارض مرتبط با گرما، کاهش مرگ و میر، بهبود بهره وری و افزایش احساس رضایتمندی را در بین افراد در معرض در بر خواهد داشت (۲۶-۲۸).

مطالعات بسیاری در زمینه کنترل استرس های گرمایی و اثر آن بر سلامت شاغلین انجام شده است که نتایج عمده آنها به نقش کنترل های مدیریتی و اجرایی همچون اقدامات کاری، بهینه سازی برنامه کار و استراحت، تامین آب آشامیدنی مناسب و کافی، و پایش استرین های فیزیولوژیکی تاکید داشته اند. استراتژی دنبال شده در این مطالعات تعیین مقدار استرس های گرمایی و استرین های فیزیولوژیکی مربوطه بوده است (۲۹-۳۵). با توجه به ضرورت استفاده از شاخص های استاندارد

$$WBGT_i = \frac{WBGT_{rs} + (2 \times WBGT_{lh}) + WBGT_n}{4} \quad (1)$$

$$WBGT_{average} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i \times WBGT_i)}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2)$$

پاسخ های فیزیولوژیک افراد شامل دمای تیمپانیک، ضربان قلب و میانگین دمای پوست همزمان با اندازه گیری شاخص WBGT ثبت گردید. میانگین دمای پوست بر اساس روش پیشنهادی ۴ نقطه ای ISO در ۴ ناحیه دست چپ، کتف راست، سطح گردن و روی ساق پای راست اندازه گیری شد. و در نهایت با استفاده از ضرایبی که نشان دهنده سطح ناحیه مورد بررسی به کل بدن است و از رابطه زیر میانگین پوست بدن تعیین گردید (۴):

$$T_{mean} = (0.28 \times T_{rs}) + (0.28 \times T_n) + (0.28 \times T_{rsh}) + (T_{lh} \times 0.16) \quad (3)$$

T_{mean} : میانگین دمای پوست

T_{lh} : دمای پوست دست چپ

T_{rs} : دمای کتف راست

T_n : دمای سطح گردن

T_{rsh} : دمای روی ساق پای راست

جهت برآورد دقیق تر استرین های گرمایی و اثر بار گرمایی محیط بر افراد، کلیه اندازه گیری ها بعد از گذشت حداقل سه ساعت کار در محیط انجام گردید. اندازه گیری های مشابهی در زمان استراحت افراد ثبت گردید. سنجش دمای تمپان توسط دماسنج تمپانیک مادون قرمز صورت گرفت. برای این منظور ابتدا با پرسیدن سوالاتی از فرد همچون وجود درد گوش، احساس گرفتگی گوش و سرگیجه و نیز مشاهده ظاهری مجرای گوش از باز بودن مجرای شنوایی و عدم وجود جرم گوش اطمینان حاصل می شد و سپس سنسور دماسنج در مجرای شنوایی فرد (بطور قراردادی سمت راست) قرار گرفته و مقدار دما پس از به تعادل رسیدن سنسور دماسنج اندازه گیری گردید. با توجه به هدف مطالعه، شاخص استرین گرمایی

صورت مصاحبه و مشاهده حضوری جمع آوری شد. به منظور ارزیابی استرس حرارتی، از شاخص دمای تر گویسان WBGT استفاده شد. سازمان جهانی بهداشت WHO سازمان استاندارد جهانی ISO و انستیتوی ملی ایمنی و بهداشت حرفه ای آمریکا NIOSH این شاخص را به عنوان شاخص ارزیابی استرس گرمایی محیط معرفی کرده اند. علاوه بر این در مطالعات گذشته، ارتباط قابل قبول این شاخص با شاخص های فیزیولوژیکی بدن مانند دمای عمقی نشان داده شده است (۳۵-۳۶). مطابق با استاندارد ISO ۲۴۳، اندازه گیری ها در روزهای گرم سال (تیر و مرداد) در ساعت های ۱۰ صبح تا ۱۵ ظهر مورد سنجش قرار گرفت (۳۷-۳۸).

برای اندازه گیری این شاخص از دستگاه سنجش WBGT دیجیتالی مدل MK427JY ساخت شرکت Casella استفاده شد و با توجه به روش کار ارائه شده توسط این استاندارد و ناهمگون بودن شرایط دمایی در نانوایی ها، اندازه گیری در سه ارتفاع سر (۱/۷ متر)، تنه (۱/۱ متر) و قوزک پا (۰/۱ متر) انجام و میانگین آنها تعیین گردید (رابطه ۱). علاوه بر این با توجه به اندازه گیری مقادیر دمایی در زمان های مختلف نوبت کاری (هم در زمان استراحت و و هم در زمان کار) با استفاده از رابطه میانگین وزنی زمانی شاخص WBGT محاسبه شد (رابطه ۲). رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا در محیط به ترتیب توسط دستگاه رطوبت سنج دیجیتال مدل PHB ۳۱۸ و آنومتر حرارتی مدل YK-2004AH ساخت شرکت Lutron تایوان اندازه گیری شد.

جهت برآورد میزان متابولیسم و مقاومت حرارتی لباس افراد به ترتیب از روش توصیه شده در استاندارد ISO 8996 و ISO 9920 استفاده گردید (۳۹-۴۰). مقادیر مجاز شاخص WBGT براساس میزان متابولیسم، جنس لباس و شرایط کار و استراحت افراد تعیین گردید. همچنین با توجه به سابقه کاری و نحوه مواجهه افراد با گرما، همه کارگران سازش یافته در نظر گرفته شدند.

یافته ها

آنالیز اطلاعات دموگرافیک فردی و شغلی افراد نمونه نشان داد که افراد در گستره سنی ۱۹ تا ۵۸ سال با میانگین و انحراف معیار $35/35 \pm 8/13$ قرار داشتند و میانگین و انحراف معیار سابقه کار آنها برابر $8/93 \pm 14/07$ سال و ساعات کار روزانه ۶ تا ۱۵ ساعت با میانگین و انحراف معیار $9/62 \pm 1/40$ ساعت بود.

بر اساس نوع نانوائی، ۴۰/۵ درصد (مورد ۶۶) نانوائی لواشی، ۵/۵ درصد (مورد ۹) نانوائی سنگی و ۵۴ درصد (۸۸) نانوائی بربری مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین ۹/۸ درصد (مورد ۱۶) از نانوائی های مورد بررسی شامل پخت تنوری و ۹۰/۲ درصد (مورد ۱۴۷) از تکنولوژی پخت ماشینی بهره مند بودند.

مقادیر پارامتر های محیطی اندازه گیری شده و نیز متوسط شاخص WBGT به همراه میانگین و انحراف معیار آنها در جدول شماره ۱ نشان داده است.

پارامتر های پیش بینی شده شامل مدت زمان مجاز کار، نرخ تعریق، کل آب از دست رفته، دوره های زمانی نیاز به مصرف آب، دمای رکتال بعد از ۸ ساعت، مدت زمان لازم برای تجاوز از حدود تعیین شده آب از دست رفته و مدت لازم برای رسیدن به حدود تعیین شده دمای رکتال می باشند که مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین و انحراف معیار آنها در جدول شماره ۲ آورده شده است. شرایط ریکآوری افراد در زمان استراحت شامل: میانگین و انحراف معیار دمای هوا برابر $(C^{\circ}) 24/63 \pm 1/62$.

پیش بینی شده (PHS)، با استفاده از نرم افزار محاسباتی Malchaire محاسبه گردید (۴۱). ورودی های این نرم افزار، دمای خشک، دمای گویشان، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا، میزان متابولیسم و مقاومت عایقی لباس است که همگی بر اساس اطلاعات سنجش شده از محیط های کار در زمان کار و استراحت افراد وارد گردید. پس از اندازه گیری مستقیم پارامتر های محیطی و وارد نمودن آنها در مدل Malchaire جهت تعیین شاخص PHS، خروجی های نرم افزار که شامل میزان تعریق، کل آب از دست رفته و دمای عمقی پیش بینی و در نهایت طبقه شرایط جوی ارزیابی شده بود، تعیین گردید. کلیه مقادیر پیش بینی شده و تفسیر آنها بر اساس استاندارد ISO 7933, 2004 (۲۴) می باشد.

در نهایت استرین های گرمایی پیش بینی شده بر اساس دو خروجی مهم مدل PHS شامل کل آب از دست رفته و دمای عمقی مورد ارزیابی قرار گرفت و ضمن مقایسه شاخص PHS با WBGT، مقادیر واقعی و پیش بینی شده دمای عمقی نیز مورد مقایسه قرار گرفت. برای آنالیزهای آماری توصیفی و تحلیلی از نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ استفاده شد و تمامی تحلیل ها در سطح معناداری ۰/۰۵ صورت گرفت. برای آنالیز ارتباط بین شاخص ها و نیز ارتباط بین پاسخ های واقعی و پیش بینی شده از آزمون تی تک نمونه ای (مقایسه با عدد ثابت) و آزمون پیرسون استفاده گردید.

جدول ۱- مقادیر اندازه گیری شده پارامتر های محیطی و شاخص WBGT در محیط کار (n=۱۶۳)

| پارامتر | | | |
|--------------|--------|-------|-------------------------------------|
| M± SD | حداکثر | حداقل | |
| ۳۵/۹۱ □ ۳/۳۱ | ۴۷/۱۰ | ۲۹/۴۰ | دمای هوا (°C) |
| ۲۷/۲۲ □ ۲/۵۹ | ۳۵/۴۰ | ۲۲/۳۰ | دمای تر طبیعی (°C) |
| ۳۸/۸۱ □ ۵/۵۱ | ۵۴/۷۰ | ۳۰/۱۰ | دمای گوی سان (°C) |
| ۴/۳۳ ± ۵۲/۲۰ | ۵۸/۰ | ۳۹/۰ | رطوبت نسبی (%) |
| ۰/۱۰ □ ۰/۱۰ | ۱/۵۰ | ۰ | سرعت جریان هوا (m/s ⁻¹) |
| ۲۹/۳۵ □ ۲/۱۰ | ۳۶/۲۸ | ۲۴/۲۷ | متوسط شاخص WBGT (°C) |

جدول ۲- مقادیر پیش بینی شده شاخص PHS بر اساس استاندارد ISO 7933

| مقادیر پیش بینی شده بر اساس استاندارد ISO 7933: PHS | | | پارامتر های پیش بینی شده |
|-----------------------------------------------------|--------|-------|-------------------------------------------------------------------|
| M±SD | حداکثر | حداقل | |
| ۵۰/۳۸ ± ۸/۳۶ | ۶۰ | ۳۱ | مدت زمان مجاز کار (دقیقه بر ساعت) |
| ۷۲۱/۷۱ ± ۲۲۷/۹۵ | ۱۲۱۰ | ۳۲۰ | نرخ تعریق (g/hr) |
| ۶۹۴۰/۷۳ ± ۲۸۵۰/۳۳ | ۱۱۱۷۰ | ۲۴۸۰ | کل آب از دست رفته (g) |
| ۱۸/۶۵ ± ۷/۶۲ | ۳۸ | ۱۰ | دوره های زمانی نیاز به مصرف آب (min) |
| ۳۹/۹۷ ± ۲/۸۰ | ۴۹/۵۰ | ۳۷/۲۰ | دمای رکتال بعد از ۸ ساعت (°C) |
| ۲۲۲/۴۵ ± ۷۶/۰۲ | ۴۸۰ | ۱۷۰ | مدت زمان لازم برای تجاوز از حدود تعیین شده آب از دست رفته (min) † |
| ۷۷/۶۳ ± ۴۲/۶۲ | ۲۸۰ | ۲۵ | مدت لازم برای رسیدن به حدود تعیین شده دمای رکتال (min) †† |

† حدود مجاز تعیین شده آب از دست رفته برای فرد سازش یافته معادل ۵٪ وزن بدن در نظر گرفته می شود بطوری که ۹۵٪ افراد از عوارض ناشی از گرما در این حالت حفاظت گردند. (ISO- 7933, 2004).
 †† حدود مجاز تعیین شده دمای رکتال برای فرد سازش یافته برابر (°C) ۲۸ در نظر گرفته شده است (ISO- 7933, 2004).

جدول ۳- ارتباط پارامتر های فیزیولوژیکی اندازه گیری شده واقعی با مولفه های پیش بینی شده شاخص PHS و شاخص WBGT

| مولفه های پیش بینی شده شاخص PHS | | | | WBGT | | پارامتر فیزیولوژیکی |
|---------------------------------|-------|-----------|-------|---------|-------|---------------------|
| آب از دست رفته | | دمای عمقی | | P value | r | |
| P value | r | P value | r | P value | r | |
| <۰/۰۰۱ | ۰/۸۰۱ | <۰/۰۰۱ | ۰/۷۱۸ | <۰/۰۰۱ | ۰/۷۸۱ | دمای گوش |
| ۰/۰۰۴ | ۰/۶۵۰ | <۰/۰۰۱ | ۰/۵۳۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۴۱۸ | دمای پوست |
| <۰/۰۰۱ | ۰/۶۵۰ | <۰/۰۰۱ | ۰/۵۳۰ | <۰/۰۰۱ | ۰/۶۶۷ | ضربان قلب |
| <۰/۰۰۱ | ۰/۹۴۷ | | ۱ | <۰/۰۰۱ | ۰/۸۴۵ | دمای عمقی |
| | ۱ | <۰/۰۰۱ | ۰/۹۴۷ | <۰/۰۰۱ | ۰/۶۴۶ | آب از دست رفته |

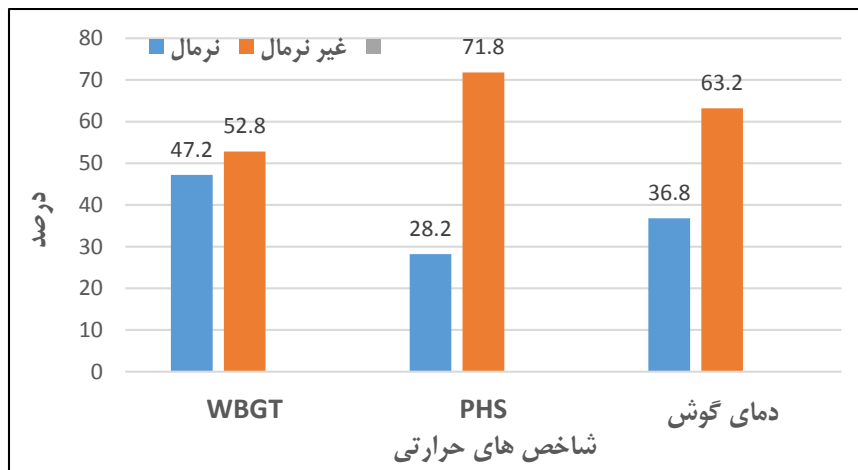
واقعی، ۹۲ درصد افراد (۱۵۰ نفر) پس از گذشت ۳ ساعت مواجهه با گرما همچنان دارای دمای عمقی گوش پایینتر از حد مجاز بوده اند و تنها ۸ درصد افراد مورد بررسی (۱۳ نفر) در حین مواجهه با گرما، دمای عمقی بالاتر از ۳۸ درجه سانتیگراد را تجربه کرده اند. نتایج جدول شماره ۳ ارتباط پارامتر های فیزیولوژیکی اندازه گیری شده واقعی و پیش بینی شده و نیز ارتباط آنها با شاخص WBGT را نشان می دهد. همانطور که در این جدول مشخص شده است کلیه پارامتر های مورد بررسی دارای رابطه معنی داری با شاخص WBGT بوده اند اما تنها شاخص دمای عمقی پیش بینی شده و دمای گوش اندازه گیری شده از ضریب همبستگی قابل قبولی با این شاخص برخوردار بوده اند. همچنین بجز دو پارامتر میانگین دمای پوست و

رطوبت نسبی برابر ۴/۰۳ ± ۵۷/۳۴ و سرعت جریان هوای برابر ۰/۲۳ ± ۰/۵۴ متر بر ثانیه ثبت گردید بر اساس نتایج مدل مورد استفاده، تنها ۴۱/۱ درصد افراد (۶۷ نفر) دمای عمقی رکتال پایین تر از ۳۸ درجه سانتیگراد و ۵۸/۹ درصد (۹۶ نفر)، دمای عمقی بالاتر از ۳۸ درجه سانتیگراد را در طول مواجهه با گرما در شیفت کار تجربه می کنند. همچنین میانگین و انحراف معیار زمان مورد نیاز برای تجاوز از حدود تعیین شده دمای رکتال بر اساس مدل Malchaire و خروجی های شاخص PHS، در ۵۸/۹٪ موارد پس از گذشت ۲۵ تا ۲۸۰ دقیقه (میانگین و انحراف معیار ۴۲/۶۲ ± ۷۷/۶۳ دقیقه دمای رکتال به حد مجاز خود رسیده و از آن تجاوز می کند. این در حالیست که بر اساس دمای عمقی گوش و در شرایط

جدول ۴- ارزیابی نهایی شرایط محیطی بر اساس شاخص استرین گرمایی پیش بینی شده (PHS) (n=۱۶۳)

| PHS* | توصیف طبقه | فراوانی | درصد % |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|
| ۱ | بدون ریسک سلامتی | ۰ | ۰ |
| ۲ | عدم آسایش بدون ریسک سلامتی | ۴۶ | ۲۸/۲ |
| ۳ | اعمال محدودیت در طولانی مدت: عدم آسایش و ریسک دهیدراسیون پس از چند ساعت مواجهه | ۴۰ | ۲۴/۵ |
| ۴ | اعمال محدودیت در کوتاه مدت: ریسک سلامتی پس از ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه مواجهه | ۷۴ | ۴۵/۴ |
| ۵ | اعمال محدودیت فوری: ریسک سلامتی حتی پس از مواجهات کوتاه مدت (کمتر از ۳۰ دقیقه) | ۳ | ۱/۸ |

*PHS: شرایط محیطی پیش بینی شده براساس شاخص



شکل ۱- مقایسه پاسخ شاخص های استرسی و استرینی در ارزیابی شرایط حرارتی یکسان

سلامتی قرار می گیرند و نیاز به محدود نمودن مواجهه این افراد ضروری می نماید. بر این اساس با توجه به اطلاعات جدول ۴، تنها ۲۸/۲ درصد افراد مورد بررسی بر اساس شاخص PHS انتظار می رود که در طول مدت کار خود، بدون ریسک سلامتی دیده شوند و ۷۱/۸ درصد بقیه، درجات مختلفی از ریسک را تجربه خواهند نمود و در واقع در ناحیه غیر مجاز قرار خواهند گرفت. نمودار شکل ۱ بر اساس حدود مجاز شاخص های WBGT، PHS و دمای عمقی گوش، پاسخ این شاخص ها را در ارزیابی شرایط یکسان مقایسه می کند. همانطور که ملاحظه می شود، مقایسه نمودارها

ضربان قلب، سایر پارامترهای مورد بررسی شامل دمای گوش، دمای عمقی پیش بینی شده و میزان آب از دست رفته دارای ضریب همبستگی مناسبی بوده اند ($r=0.646$ تا $r=0.947$ ، $P < 0.001$). بنابراین در ادامه، بررسی های بیشتر تنها در مورد این پارامترهای فیزیولوژیک انجام گردید.

جدول ۴ استرین های حرارتی ارزیابی شده نهایی را بر اساس شاخص PHS در ۵ ناحیه حرارتی و بر اساس سطوح ریسک مختلف طبقه بندی می کند. همانطور که در جدول مشخص شده است افرادی که در ناحیه ۳ و بعد آن قرار می گیرند، در معرض سطوح مختلفی از ریسک

جدول ۵- بررسی انطباق شاخص WBGT با مولفه های پیش بینی شده توسط شاخص PHS و دمای گوش

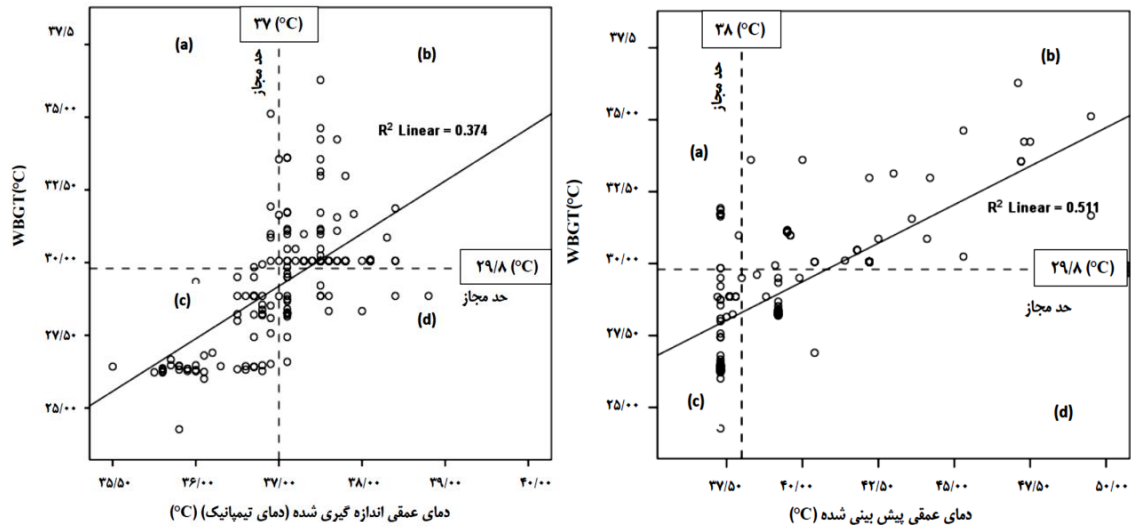
| دمای گوش | | مولفه های شاخص PHS | | | | شاخص/پاسخ فیزیولوژیک | | |
|-------------------|------------|--------------------|------------|-------------------|------------|----------------------|----------|-------------------|
| | | کل آب از دست رفته | | دمای عمقی | | | | |
| بالاتر از حد مجاز | در حد مجاز | بالاتر از حد مجاز | در حد مجاز | بالاتر از حد مجاز | در حد مجاز | WBGT | p- Value | |
| ۲۴ | ۵۳ | ۳ | ۲۸ | ۲۰ | ۵۷ | | | در حد مجاز |
| ۲۳/۳ % | ۸۸/۳ % | ۳/۵ % | ۳۶/۳ % | ۲۰/۶ % | ۸۶/۴ % | | | |
| ۷۹ | ۷ | ۸۳ | ۴۹ | ۷۷ | ۹ | | | بالاتر از حد مجاز |
| ۷۶/۷ % | ۱۱/۷ % | ۹۶/۵ % | ۶۳/۷ % | ۷۹/۴ % | ۱۳/۶ % | | | |
| <۰/۰۰۱ | | <۰/۰۰۱ | | <۰/۰۰۱ | | | | |
| ۰/۶۱۴ | | ۰/۳۳۹ | | ۰/۶۴۰ | | Kappa | | |

منظور درک بهتر عملکرد هر شاخص، پاسخهای استرسی و استرینی نسبت به حدود مجاز تعیین شده برای هر شاخص یا پارامتر فیزیولوژیک در نمودار های شکل ۲ نشان داده شده است.

بحث

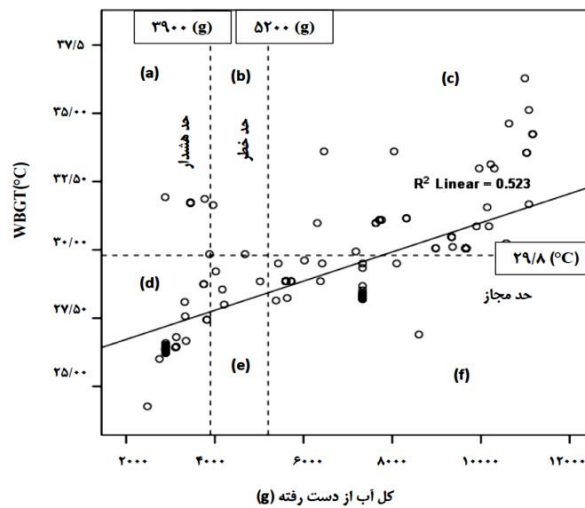
نتایج این مطالعه نشان داد بر اساس مولفه های پیش بینی شده در شاخص PHS، در ۵۸/۹ درصد موارد کارگران دمای عمقی بالاتر از ۳۸ درجه سانتیگراد را در طول مواجهه با گرما در شیفت کار تجربه می کنند و تنها دمای عمقی ۴۱/۱ درصد افراد پایین تر از حد مجاز باقی خواهد ماند. از سوی دیگر بر اساس پیش بینی های صورت گرفته، مدت زمان لازم برای رسیدن به حد خطرناک بر اساس دمای عمقی، بین ۲۵ تا ۲۸ دقیقه پیش بینی شده است. یعنی در ۵۸/۹ درصد موارد ذکر شده، بعد از این مدت، دمای عمقی همچنان سیر افزایشی خواهد داشت و ممکن است اگر شرایط ریکواری در محل خنک و نیز مصرف آب فراوان فراهم نباشد، فرد در وضعیت بحرانی قرار گیرد بطوریکه همانگونه که اطلاعات جدول ۲ نشان می دهد میانگین و انحراف معیار

نشان می دهد در مقایسه با دمای گوش (که در شرایط عدم امکان استفاده از دمای رکتال به عنوان یک شاخص استرینی جایگزین قابل استفاده است)، شاخص WBGT نسبت به آن شرایط را کمتر از واقع و PHS شرایط را بیشتر از واقع برآورد می کند. همچنین با توجه به حدود مجاز شاخص WBGT که خود بسته به متوسط میزان متابولیسم، مقاومت لباس، برنامه کار و استراحت و سازش یافته فرض نمودن کارگران تعیین شده است و نیز میزان حدود مجاز پارامتر های استرینی، میزان تطابق شاخص ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت و مقادیر Kappa به منظور نشان دادن میزان این تطابق برای هر دو پارامتر مورد بررسی بطور مجزا تعیین گردید. این نتایج در جدول ۵ آورده شده است. همانطور که اطلاعات جدول ۵ نشان می دهد شاخص WBGT با دمای عمقی گوش و نیز مولفه دمای رکتال پیش بینی شده شاخص PHS دارای بیشترین تطابق می باشد (مقدار Kappa به ترتیب برابر ۰/۶۱۴ و ۰/۶۴۰). در حالیکه مقدار Kappa بین میزان آب از دست رفته و شاخص WBGT، حاکی از عدم تطابق مناسب می باشد (Kappa = ۰/۳۳۹).



نمودار (1)

نمودار (2)



نمودار (3)

شکل ۲- نمودارهای تطابق پاسخهای استرینی و استرسی بر اساس شاخص WBGT در نواحی مجاز و غیر مجاز

نمودار (1): تطابق دمای عمقی اندازه گیری شده و شاخص WBGT: (a) شاخص WBGT غیر مجاز و دمای عمقی گوش مجاز; (b) شاخص WBGT غیر مجاز و دمای عمقی گوش غیر مجاز; (c) شاخص WBGT مجاز و دمای عمقی گوش مجاز; (d) شاخص WBGT مجاز و دمای عمقی گوش غیر مجاز

نمودار (2): تطابق دمای عمقی پیش بینی شده و شاخص WBGT: (a) شاخص WBGT غیر مجاز و دمای عمقی پیش بینی شده مجاز; (b) شاخص WBGT غیر مجاز و دمای عمقی پیش بینی شده غیر مجاز; (c) شاخص WBGT مجاز و دمای عمقی پیش بینی شده مجاز; (d) شاخص WBGT مجاز و دمای عمقی پیش بینی شده غیر مجاز

نمودار (3): تطابق کل آب از دست رفته و شاخص WBGT: (a) شاخص WBGT غیر مجاز و کل آب از دست رفته مجاز; (b) شاخص WBGT غیر مجاز و کل آب از دست رفته غیر مجاز; (c) شاخص WBGT مجاز و کل آب از دست رفته مجاز; (d) شاخص WBGT مجاز و کل آب از دست رفته غیر مجاز; (e) شاخص WBGT مجاز و کل آب از دست رفته غیر مجاز; (f) شاخص WBGT مجاز و کل آب از دست رفته غیر مجاز

نشان می دهد بر اساس مولفه دمای عمقی پیش بینی شده، شاخص PHS نسبت به WBGT شرایط استرین حرارتی (در اینجا دمای گوش) را کمتر از واقع برآورد می کند (جدول ۵)، اما بر اساس مولفه میزان تعریق و یا آب از دست رفته، نتیجه برعکس می باشد و این بار شاخص PHS نسبت به WBGT شرایط استرین حرارتی (در اینجا دمای گوش) را بیشتر از واقع برآورد می کند. این نتیجه در نمودارهای شکل ۲ نیز بخوبی مشخص شده است بطوریکه نوع پاسخها در نواحی مجاز و غیر مجاز تعیین شده در نمودار دمای پیش بینی شده و دمای اندازه گیری شده از شباهت بیشتری برخوردار هستند. علت این نتیجه می تواند به میزان مصرف واقعی آب در کارگران ناوایی برگردد، بطوریکه مقدار مصرف آب جبرانی توسط این افراد (رهیدراسیون) بیش از مقدار فرض شده در استاندارد باشد. ISO- 7933 (۲۰۰۴) حداکثر قابل قبول آب از دست رفته برای بدن را ۵٪ وزن بدن توصیه نموده است. در این شرایط انتظار می رود ۹۵٪ جمعیت در معرض گرما در برابر دهیدراسیون و مشکلات ناشی از آن محافظت گردند. تعیین این حدود بر این فرض استوار بوده است که میزان رهیدراسیون برابر ۴۰٪ وزن آب از دست رفته باشد (۲۴).

Broede و همکاران (۲۰۱۳) دلیل اختلاف دو شاخص PHS و WBGT را در ارزیابی شرایط یکسان چنین بیان می کنند که هدف WBGT ارائه یک روش ساده برای ارزیابی استرس گرما در محل کار است. برای WBGT، حداکثر درجه حرارت رکتال ۳۸ درجه سانتیگراد فرض شده است در حالیکه برای PHS، متوسط درجه حرارت رکتال ۳۸ درجه سانتی گراد فرض شده است بطوریکه احتمال رسیدن به دمای ۳۹/۲ درجه سانتی گراد و ۴۲ درجه سانتیگراد به ترتیب کمتر از 10^{-3} و 10^{-6} باشد. بنابراین دور از انتظار نیست که WBGT نسبت به PHS بر اساس دمای عمقی، حساسیت بیشتری نسبت به استرس گرما داشته باشد (۴۶).

دمای عمقی پیش بینی شده برابر $39/97 \pm 2/80$ خواهد بود. این در حالیست که بر اساس دمای عمقی گوش که بصورت واقعی اندازه گیری می شود، تنها ۸ درصد افراد مورد بررسی (۱۳ نفر) در حین مواجهه با گرما، دمای عمقی بالاتر از ۳۸ درجه سانتیگراد را تجربه کرده اند. بنابراین مشخص می شود بر اساس دمای عمقی پیش بینی شده و اندازه گیری شده، شاخص PHS شرایط را بدبینانه تر نشان می دهد.

از بین پارامترهای فیزیولوژیک اندازه گیری شده نیز مشخص گردید بهترین ضریب همبستگی مربوط به دمای عمقی گوش ($r = 0/781$) و شاخص WBGT می باشد (جدول ۳) و سایر پارامترها شامل ضربان قلب و میانگین دمای پوست همبستگی قابل قبولی را نشان ندادند. بسیاری از مطالعات دیگر نیز ارتباط بیشتر شاخص دمای گوش را با استرس های گرمایی و بویژه شاخص WBGT نشان داده اند (۲۵، ۴۲، ۴۳). همچنین از بین دو مولفه مهم پیش بینی شده توسط شاخص PHS، دمای عمقی پیش بینی شده دارای ضریب همبستگی بهتری نسبت به میزان آب از دست رفته بر اثر تعریق با شاخص WBGT بوده است ($r = 0/845$) در برابر $r = 0/646$.

Parsons و Neill (۱۹۹۹) دو شاخص استاندارد (ISO 7243) WBGT و (ISO 7933) SWreq را که در اصل برای کشورهای آمریکایی و اروپایی ارائه شده اند، را با شبیه سازی محیط های روباز گرم و مرطوب کشاورزان کشور های درحال توسعه مورد مقایسه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد شاخص Swreq میزان تعریق و تبخیر عرق را کمتر از واقع نشان می دهد و در واقع نسبت به WBGT شرایط را محتاطانه تر ارزیابی می کند (۴۴). از سوی دیگر Wang و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند شاخص PHS که شکل بهبود یافته شاخص SWreq است، برای شرایط گرم و با رطوبت بالا، شرایط را کمتر از واقع برآورد می کند (۴۵). نتایج مطالعه حاضر

به شاخص های دیگر بیشترین همبستگی را با دمای گوش دارد ($r=0/408$). همچنین ضریب همبستگی بین شاخص استرس حرارتی WBGT و شاخص های PHS بیشترین مقدار بود ($r=0/945$) (۴۲). در مطالعه دیگر نیز همه رضایی و همکاران دریافتند که در مقایسه با شاخص PHS، شاخص WBGT ارتباط قویتری را با پارامتر های فیزیولوژیکی در کارگران در معرض گرما در یک صنعت فولاد نشان می دهد (۴۸). این نتیجه نیز در توافق با نتایج حاصل از مطالعه حاضر می باشد. نگهبان و همکاران (۱۳۹۳)، نشان دادند دمای تمپان ارتباط قویتری را با شاخص WBGT نشان می دهد ($R^2=0/78$)، $P < 0/01$ ، بر این اساس به علت سهولت اندازه گیری، ماهیت غیرتهاجمی، قابل قبول بودن توسط کارگران، اندازه گیری سریع و عدم تداخل در فرآیند کاری، دمای تمپان میتواند به عنوان یک شاخص کاربردی تر نسبت به دیگر شاخصها برای اندازه گیری واتنش فیزیولوژیکی در محیطهای کاری گرم مورد استفاده قرار گیرد (۴۹). این یافته نیز در توافق با مطالعه حاضر ($R^2=0/781$)، $P < 0/001$ و نیز برخی مطالعات دیگر می باشد (۲۶ و ۵۰ - ۴۹).

یکی از محدودیتهای مطالعه حاضر که توصیه می شود در مطالعات بعدی بدان توجه شود، عدم سنجش مستقیم میزان تعریق و آب از دست رفته بود که علت آن نیز عدم امکان این کار در محیط های کاری نانوایی بود. بنابراین توصیه می شود این مطالعه در یک محیط آزمایشگاهی و با سنجش مستقیم دمای گوش و میزان تعریق به عنوان دو پارامتر کلیدی نشاندهنده استرس حرارتی انجام گردد تا مقایسه عملکرد شاخص PHS با مقادیر واقعی متناظر آن امکان پذیر گردد.

نتیجه گیری

بطور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان می دهد اگرچه در نگاه اول شاخص WBGT نسبت به شاخص PHS از

در مطالعه حاضر مشخص گردید مولفه دمای عمقی پیش بینی شده شاخص PHS، بهترین توافق را با شاخص WBGT نشان می دهد ($Kappa=0/640$ ، $p < 0/001$) و توافق WBGT با دمای گوش اندازه گیری شده نیز در حد قابل قبول بوده است ($Kappa=0/614$ ، $p < 0/001$). اما کمترین ضریب توافق با مولفه آب از دست رفته شاخص PHS با WBGT دیده شد ($Kappa=0/339$ ، $p < 0/001$). بنابراین می توان گفت دمای عمقی نسبت به آب از دست رفته، می تواند دمای گوش را بهتر پیش بینی کند و یا به عبارتی به شکل بهتری بازگو کننده استرس حرارتی واقعی وارد بر فرد باشد. بعلاوه در شرایطی که شاخص WBGT بالاتر از حد مجاز بوده است، ۷۷ نفر (۷۹/۴٪) دمای عمقی بالاتر از حد مجاز داشتند. این میزان برای آب از دست رفته برابر ۸۳ نفر (۹۶/۵٪) و برای دمای گوش اندازه گیری شده برابر ۷۹ نفر (۷۶/۷٪) بدست آمد (جدول ۵) که این مقادیر نشان دهنده نزدیکی بیشتر دمای عمقی پیش بینی شده نسبت به آب از دست رفته با دمای گوش می باشد. در مطالعه ای دیگر به منظور ارزیابی شرایط حرارتی در یک محیط صنعتی از دو شاخص WBGT و PHS استفاده شد. نتایج نشان داد که مقادیر بدست آمده برای هر دو شاخص بین ماههای می تا اوت فراتر از سطح راحتی افرادی بوده است. همچنین بر اساس شاخص PHS، ۲۵-۳۸٪ شرایط بسیار گرم را تجربه می نموده اند و بر اساس شاخص WBGT، این میزان برابر ۷۰-۶۰٪ بوده است که نشان دهنده برآورد کمتر از واقع شاخص PHS نسبت به WBGT می باشد (۴۷).

همه رضایی و همکاران (۱۳۹۷) مطالعه ای را با هدف ارزیابی استرس حرارتی در صنایع فولاد و مقایسه شاخصهای استرس گرمایی HSI، DI، WBGT و PHS در برآورد استرس گرمایی و تعیین شاخص بهینه انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد شاخص WBGT نسبت

کنار سنجش استرس های حرارتی توسط شاخص های WBGT و PHS انجام گردد. همچنین لازم است در محیط هایی که از شاخص PHS به منظور ارزیابی شرایط حرارتی استفاده می شود، تمهیدات لازم برای نوشیدن آب فراوان توسط افراد (رهیدراسیون) فراهم گردد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه با شماره ۹۵۲۹ می باشد که بدینوسیله نویسندگان نهایت تشکر و قدردانی را از حمایت های معاونت پژوهشی دانشگاه اعلام می نمایند.

REFERENCES

1. Monazzam Esmailpour, MR, Golbabaie F, Azami K. Survey of the productivity loss due to heat stress in different tasks of farmers in Darreh Shahr city. *Journal of Health and Safety at Work*. 2015; 5(3): 63-75.
2. Hansen E, Donohoe M. Health issues of migrant and seasonal farmworkers. *Journal of Health care for the Poor and Underserved*. 2003;14(2):153-64.
3. Sheiner EK, Sheiner E, Hammel RD, Potashnik G, Carel R. Effect of occupational exposures on male fertility: literature review. *Ind Health*. 2003;41(2):55-62.
4. Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Rahimi-Forushani Ab, 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. Kenefick RW, Sawka MN. Hydration at the work site. *J Am Coll Nutr*. 2007;26(5):597-603.
6. Jackson LL, Rosenberg HR. Preventing heat-related illness among agricultural workers. *J Agromedicine*. 2010;15(3):200-15.
7. Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Forushani AR, Gaeini A. Consistency between sweat rate and wet bulb globe temperature for the assessment of heat stress of people working outdoor in arid and semi-arid regions. *Int J Occup Environ Med* 2018;9:1-9.
8. Donoghue AM, Sinclair MJ, Bates GP. Heat exhaustion in a deep underground metalliferous mine. *Occup Environ Med*. 2000;57(3):165-74.
9. De Freitas CR, Grigorieva EA. A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. *International journal of biometeorology*. 2017;61(3):487-512.
10. Zare S, Hasheminejad N, Elahi Shirvan H, Hemmatjo R, Sarebanzade, K, Ahmadi S. Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather and climate extremes*. 2018; 19: 49-57.
11. Zare S, Hasheminejad, N, Sarebanzade K, Zolala F, Hemmatjo R, Hasanvand D. Assessing thermal comfort in tourist attractions through objective and subjective procedures based on ISO 7730 standard: A field study. *Urban Climate*. 2018; 26: 1-9.
12. Zare S, Hasheminejad N, Bateni M, Baneshi MR, Shirvan HE, Hemmatjo R. The association between wet-bulb globe temperature and other thermal indices (DI, MDI, PMV, PPD, PHS, PSI and PSIhr): a field study, *Int J Occup Saf Ergon*. 2018; 11:1-9.
13. Zare S, Hasheminejad N, Ahmadi S, Bateni M, Baneshi MR, Hemmatjo R. A Comparison of the Correlation Between ESI and Other Thermal Indices (WBGT, WBDT, TWL, HI, SET, PET, PSI, and PSIIHR): A Field Study. *Health Scope*. 2018;7(4).
14. Heidari H, Golbabaie 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.
- Yaglou CP, Minaed D. Control of heat casualties at military training centers. *Arch. Indust. Health*. 1957;16(4):302-16.
15. ISO-7243:2017 (en). Hot environments—estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature), 1989. Available from www.iso.org/standard/67188.html.
16. Budd GM. Wet-bulb globe temperature (WBGT)— its history and its limitations. *J Sci Med Sport* 2008;11:20-32.
17. Malchaire J, Gebhardt HJ, Piette A. Strategy for evaluation and prevention of risk due to work in thermal environments. *Ann Occup Hyg* 1999; 43: 36776.
18. Malchaire J, Kampmann B, Havenith G, Mehnert P, Gebhardt HJ. Criteria for estimating acceptable exposure times in hot working environments: a review. *International archives of occupational and environmental health*. 2000;73(4):215-20.
19. ISO -7933. Hot environments analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate.. Geneva: International Standards Organization; 1989.
20. Malchaire J, Piette A, Kampmann B, Mehnert P, Gebhardt HJ, Havenith G, et. al. Development and validation of the predicted heat strain model. *Annals of Occupational Hygiene*. 2001;45(2):123-35.
21. Brake DJ, Bates GP. Limiting metabolic rate (thermal work limit) as an index of thermal stress. *Applied occupational and environmental hygiene*. 2002;17(3):176-86.
22. Miller VS, Bates GP. The Thermal Work Limit is a simple reliable heat index for the protection of workers in thermally stressful environments. *Ann Occup Hyg* 2007;51: 553-61.
23. ISO-7933:2004 (en). Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and in terpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain. 2004.
24. Heidari H, Golbabaie 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. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2018; 24(2): 224-232.
25. Tian Z, Zhu N, Zheng G, Wei H. Experimental study on physiological and psychological effects of heat acclimatization in extreme hot environments. *Build Environ*. 2011;46(10):2033-41.
26. Epstein Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. *Ind Health*. 2006;44(3):388-98.
27. Yang Y. Heat stress intervention research in construction: gaps and recommendations. *Industrial health*. 2017;55(3):201-9.
28. 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.
29. Yi W, Chan AP. Which environmental indicator is better able to predict the effects of heat stress on construction workers?. *Journal of management in engineering*. 2014;31(4):04014063.
30. Bates GP, Miller VS, Joubert DM. Hydration status of expatriate manual workers during summer in the Middle East. *Annals of occupational hygiene*. 2009;54(2):137-43.
31. Montazer S, Farshad AA, Monazzam MR, Eyvazlou M, Yaraghi AA, Mirkazemi R. Assessment of construction workers' hydration status using urine specific gravity. *International journal of occupational medicine and environmental health*. 2013;26(5):762-9.
32. Chan AP, Yi W, Wong DP, Yam MC, Chan DW. Determining an optimal recovery time for construction rebar workers after working to exhaustion in a hot and humid environment. *Building and environment*. 2012 ;58:163-71.
33. Chan AP, Wong FK, Wong DP, Lam EW, Yi W. Determining an optimal recovery time after exercising to exhaustion in a controlled climatic environment: Application to construction works. *Building and environment*. 2012 ;56:28-37.
34. Claassen N, Kok R. The accuracy of WBGT heat stress index at low and high humidity levels. *Occupational Health Southern Africa*. 2007;25: 12-18.
35. OSHA. Heat Stress Guide, Minnesota Department of Labor and Industry ,Occupational Safety and Health Division. 2009.
36. 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.
37. Parsons K. Heat stress standard ISO 7243 and its global application. *Industrial health*. 2006;44(3):368-79.
38. ISO-8996. International Organization for Standardization (ISO). Ergonomics of the thermal environment- Determination of metabolic rate. (Standard No. ISO 8996:2004). Geneva: ISO; 2004.
39. 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.
40. Malchaire, Jacques, Development and validation of the predicted heat strain model. *Annals of Occupational Hygiene*. 2001; 45(2):123-135.
41. Hamerezaee M, Golbabaei F, Nasiri P, Farhang Dehghan S, Fathi A, Darabi F, Determination of optimum index for heat stress assessment on the basis of physiological parameters, in steel industries. *Journal of Health and Safety at Work*. 2018; 2(8): 163-174 [Persian].
42. Falahati M, Alimohammadi I, Farshad AA, Zokaii M, Sardar A. Evaluating the reliability of WBGT and P4SR by comparison to core body temperature. *Iran Occup Health*. 2012;9(3):22-31 [Persian].
43. Mcneill MB, Parsons KC. Appropriateness of international heat stress standards for use in tropical agricultural environments. *Ergonomics*. 1999;42(6):779-97.
44. 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.
45. 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.
46. Chowdhury S, Hamada Y, Shabbir Ahmed K. Prediction and comparison of monthly indoor heat stress (WBGT and PHS) for RMG production spaces in Dhaka, Bangladesh. *Sustainable Cities and Society*, 2017; 29:41-57.
47. Hamerezaee M, farhang Dehghan S, Golbabaei F, Fathi A, 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*, 2018; 9 (2):232-235.
48. Negahban A, Aliabadi M, Babayi Mesdaraghi Y, Farhadian M, Jalali M, 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 [Persian].
49. Heidari HR, Golbabaei 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 [Persian].
50. Monazzam M, Golbabaei F, Hematjo R, Hosseini M, Nassiri P, Farhang-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*. 2014;6(1):6-10.