

مقایسه شاخص‌های استرس گرمایی HSI و WBGT در نانوایی‌های ماشینی شهر همدان

رستم گلمحمدی^۱، مجتبی حسنی^۲، علیرضا زمانپور^۳، محمد علیایی^۴، محسن علی‌آبادی^۵، سکینه مهدوی^۶

چکیده

زمینه و هدف: استرس حرارتی امروزه یکی از فراگیرترین عوامل زیان‌آور محیط کار به شمار می‌رود. کارگران نانوایی‌ها یکی از فراگیرترین جمعیت‌های کاری در کشور می‌باشند که خصوصاً در فصول و مناطق گرم و مرطوب تحت تاثیر این عامل قرار دارند. این مطالعه به منظور بررسی مواجهه کارگران شاغل در نانوایی‌های ماشینی سطح شهر همدان با استرس گرمایی از طریق مقایسه شاخص‌های استرس گرمایی HSI و WBGT انجام گردیده است.

روش بررسی: بر اساس نتایج بررسی مرحله پایلوت طرح، تعداد ۸۸ نانوایی به روش نمونه‌گیری طبقه‌ای انتخاب و کمیات مهم برای تعیین شاخص‌های استرس گرمایی WBGT و HSI در محدوده استقرار کارگران نانوایی‌ها اندازه‌گیری گردید. در این تحقیق مقادیر پارامترهای مورد نیاز توسط WBGT meter و رطوبت‌سنج ساخت CASELLA و آنومتر پره‌ای اندازه‌گیری گردیده است.

یافته‌ها: نتایج محاسبات شاخص‌های مورد نظر نشان داد که میانگین شاخص WBGT برابر $28/57 \pm 1/97^\circ\text{C}$ و شاخص HSI برابر با

$43/7 \pm 2/214$ بوده است. تحلیل نتایج نشان داد که ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر شاخص HSI با WBGT بوده است ($r = 0/509$)، لیکن به دلیل وابستگی شدید شاخص HSI به سرعت جریان هوا ($r = -0/881$) مقادیر این شاخص دارای مقادیر بالاتر از حد انتظاری بوده است.

نتیجه‌گیری: هر چند هر دو شاخص مورد نظر مقادیر استرس گرمایی را بیش از حد مجاز نشان داده‌اند، لیکن علی‌رغم تشابه محیط‌های مورد بررسی، میانگین مقادیر شاخص WBGT نشان دهنده انحراف محدودی نسبت به حد مجاز و انحراف معیار کوچکی بوده است ولی مقادیر HSI نشان دهنده انحراف بسیار زیادی از حد مجاز بوده و پراکندگی داده‌های آن زیاد بوده است. با توجه به نتایج مطالعه توزیع شاخص HSI نسبت به WBGT دارای ضعفهای متعددی بوده است.

کلیدواژه‌ها: استرس گرمایی، WBGT و HSI

مقدمه

که مواجهه با گرمای بیش از حد عوارض زیادی از جمله خستگی ناشی از گرما، کرامپ عضلانی، گرما زدگی، جوشهای گرمایی، علائم عصبی و روانی و کاهش بازده کاری در شاغلین محیط‌های گرم ایجاد می‌نماید. در اختلالات خفیف و متوسط از جمله کرامپ‌های

شرایط جوی مناسب برای آسایش انسان، محیطی است که دمای خشک آن ۲۴-۲۱ درجه سانتیگراد و میزان رطوبت ۵۰٪ باشد (۱). مطالعات نشان داده‌اند

۱- نویسنده پاسخگو، عضو هیئت علمی گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان (email: golmohamadi@umsha.ac.ir)

۲- کارشناس بهداشت حرفه‌ای

۳- عضو هیئت علمی گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان

۴ و ۵- کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای

شاخص تر گویسان و دمای تر بهتر از شاخص های دیگر بیانگر واقعی شرایط گرمایی محیط می باشد، همچنین نشان داده شد که بیشترین همبستگی را به ترتیب (WGT, CET, ET (effective Temperature) و در رتبه آخر بین شاخص HSI با WBGT رابطه ضعیفی وجود دارد (۶). طی مطالعه ای که توسط Wasterlund در سال ۱۹۹۷ تحت عنوان مروری بر شاخصهای استرس حرارتی و کاربرد آن در صنایع جنگلی منتشر نموده است، شاخص تر گوی سان WBGT را در مقایسه با شاخص میزان تعریق مورد نیاز SW به عنوان یک شاخص ساده و مناسب معرفی نموده است (۷).

در مطالعه ای که توسط Parker R.D در سال ۱۹۸۴ تحت عنوان مقایسه تکنیک های اندازه گیری استرس گرمایی در یک کارخانه فولاد انجام گرفت، نتایج تحلیل های آماری نشان داد که بین شاخص های WBGT و بوتسبال (WGT) همبستگی بالایی وجود دارد. همچنین نتایج اندازه گیری استرس گرمایی با استفاده از WBGT دیجیتالی به نتایج اندازه گیری با WBGT استاندارد بسیار نزدیک است (۸).

مطالعاتی که در سالهای گذشته در داخل کشور توسط پورمهابادیان (۹) در ارتباط با مسائل بهداشت شغلی نانوائی ها در منطقه ای از تهران در سال ۱۳۶۲، جعفری (۱۰)، در سال ۱۳۶۷ جهت تعیین شاخص بهینه استرس گرمایی برای کارگران شیفت کار یک کارخانه ریخته گری و امیر زاده (۱۱)، جهت تعیین شاخص بهینه استرس گرمایی در یک صنعت گرم در سال ۱۳۷۱ انجام داده اند نیز بر اساس مقایسه شاخصهای استرس گرمایی استوار بوده است که اغلب بر برتری شاخص WBGT تاکید نموده اند.

نتایج مطالعه جعفری نشان داد که شاخص های MRT, P4SR (Predicted four hours Sweat Rate), CET, بیشترین میزان همبستگی را با شاخص WBGT دارند و شاخص HSI وابستگی شدیدی به سرعت جریان هوا داشته و در این بررسی کارایی لازم را نداشته است. در مطالعه پورمهابادیان مشخص شد که در نانوائی های مختلف افراد با مشاغل شاطر و نان گیر در معرض گرمای شدیدی قرار دارند بطوریکه ضمن بالا بودن دمای محیط و دمای تشعشعی، میانگین شاخص HSI محاسبه شده برابر با ۱۱۰ است که در مقایسه با حد مجاز توصیه شده برای این

عضلانی و خستگی گرمایی، مکانیسم تنظیم حرارت بدن آسیب نمی بیند اما در شوک های گرمایی، مکانیسم تنظیم حرارت بدن مختل شده و زندگی فرد به خطر می افتد (۱).

با توجه به اهمیتی که اثرات گرما بر روی شاغلین در محیط کار دارد، در این مطالعه چگونگی مواجهه با گرما و میزان تنش گرمایی محیط کار بر اساس شاخص های تجربی و تحلیلی بر روی محیط کار کارگران نانوائی ماشینی شهر همدان مورد بررسی قرار گرفته است. فعالیت در نانوائی به جهت ماهیت کار بعنوان یکی از مشاغل پر مخاطره از لحاظ استرس گرمایی محسوب می شود. با توجه به گسترش جمعیت و نیاز روزافزون به افزایش کمی پخت نان و عدم استفاده از روشهای پخت اتوماتیک، تعداد شاغلین در این حرفه روز به روز در حال افزایش می باشد. طبق برآورد، در حال حاضر در کشور در حدود یکصد هزار نفر مشغول فعالیت در نانوائی ها هستند، که سهم شهر همدان با تعداد ۲۴۱ نانوائی، حدوداً ۱۰۰۰ نفر است. از بین شاخصهای استرس گرمایی میزان مجاز شاخص (Wet Bulb Globe Temperature) WBGT برای ۷ ساعت کار و یک ساعت استراحت برابر ۲۶/۷ سانتیگراد تعیین شده است (۲ و ۳) و میزان حد مجاز شاخص $\text{Heat Stress Index} = 70\%$ می باشد (۱).

در ارتباط با میزان کارایی شاخص های تجربی و تحلیلی در برآورد و تعیین استرس گرمایی، مطالعات مختلفی در سطح جهان و ایران انجام شده است. در مطالعه ای که توسط Srivastava در سال ۲۰۰۰ ارائه شده است. تنش حرارتی را در یک کارخانه شیشه در هند با استفاده از شاخص های WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), MRT (Mean Radiant Temperature), CET (Corrected Effective Temperature), بررسی قرار داده و شاخص WBGT را برای تعیین ساعت کار و استراحت مناسب دانسته است (۴). همچنین Gill Derby در سال ۲۰۰۱، ضمن استفاده از شاخص های مختلف، شاخص HSI را شاخصی مناسب برای هر گونه وضعیت آب و هوایی جهت تعیین میانگین استرس روزانه پیشنهاد نموده است (۵).

در مطالعه ای که R.S Brief در ارتباط با شاخص های گرمایی انجام داد مشخص گردید در شرایطی که انرژی تابشی در محیط وجود داشته باشد،

نانوایی های مورد بررسی به تعداد ذکر شده شهر همدان به سه منطقه تقسیم و از هر منطقه بطور تصادفی ۳۰ نانوایی انتخاب گردید. اندازه گیری پارامترهای مورد نیاز در حد فاصل شاطر و نان گیر (نزدیکتر به شاطر) و در ارتفاع بین شکم و سر انجام شده است. پس از گردآوری اطلاعات با استفاده از فرمول زیر WBGT محاسبه گردید.

$$WBGT = 0.7t_{nw} + 0.3t_g + 2$$

در رابطه فوق ۲ درجه سانتیگراد بخاطر لباس افراد شاغل اضافه شده است. برای محاسبه ی شاخص HSI از فرمولهای مربوطه بر مبنای BTU/h استفاده شده است و متابولیسم بدن کارگران، در تمام موارد ۱۲۰۰ BTU/h، سرعت جریان هوا در مواردی که جریان هوا با آنومتر قابل اندازه گیری نبود با توجه به حرکت بدنی قابل توجه کارگران برابر ۳۰ fpm و همچنین فشار بخار آب موجود با توجه به محدوده رطوبت نسبی هوا، در تمام موارد ۱۴ mmHg در نظر گرفته شده است.

یافته ها

پارامترهای مرکزی کمیات مهم مورد بررسی و شاخصهای محاسبه شده برای استرس حرارتی در جدول شماره ۱ و شماره ۲ آمده است. در جدول ۱ ملاحظه می گردد که دمای گوی سان بیش از ۵ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای خشک بوده است این در حالی است که دمای تر کمتر ۲۰ درجه سانتیگراد بوده است. این پارامتر بیان کننده پایین ترین دمایی است که می توان با رطوبت زنی هوا را خنک نمود.

در جدول شماره ۲ نکته قابل توجه نسبت میزان مبادله انرژی مورد نیاز برای تعادل دمای بدن با حداکثر میزان قابل مبادله در آن شرایط بوده است که حدود دو برابر بوده است. نکته بعدی مدت زمان مجاز مواجهه است که طبق شرایط فوق کمتر از ۲۰ دقیقه محاسبه شده است.

جدول شماره ۲ ضریب همبستگی پیرسون و نتیجه آزمون آماری بین کمیات فیزیکی مهم و شاخصهای مورد نظر را بصورت همزمان نشان می دهد. در این جدول بالاترین ضریب همبستگی پیرسون بین دو

شاخص بالاتر از حد مجاز بوده است. همچنین نتایج مطالعه امیرزاده نشان داد که بیشترین میزان همبستگی با شاخص WBGT مربوط به شاخص ET است و بعد از آن به ترتیب شاخص های P4SR, WGT, CET, و در نهایت شاخص HSI قرار داشته است. در این تحقیق با توجه به خصوصیات تحلیلی و محدودیتهای عملیاتی شاخص HSI جهت تعیین استرس گرمایی در مطالعات پژوهشی پیشگفت و بررسی این موضوع برای کارگران نانوایی ماشینی و تعیین و میزان کارایی آن در مقایسه با شاخص WBGT مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

روش بررسی

مطالعه حاضر یک پژوهش توصیفی - تحلیلی مقطعی در کارگاههای نانوایی لواش ماشینی (با تنور گردان) شهر همدان می باشد. در این مطالعه از دستگاه WBGT meter دیجیتال ساخت شرکت Casella، رطوبت سنج چرخان ساخت Casella برای اندازه گیری دمای خشک، گوی سان، تروتر چرخان و از دستگاه آنومتر پره ای برای سنجش سرعت جریان هوا استفاده شده است. طبق استعلام انجام شده تعداد ۲۴۱ باب نانوایی در محدوده شهر همدان فعال بوده است که با توجه به گسترده بودن کار تحقیق برای تعیین تعداد و نحوه تعیین نمونه ها اقدام به بررسی پایلوت شد.

در مرحله پایلوت از محله های مختلف شهر همدان به صورت تصادفی محله ای انتخاب کرده و از هر محله نیز بطور تصادفی از تعداد ۱۰ نانوایی اندازه گیری بعمل آمد. با توجه به ماهیت طرح و جامعه مورد مطالعه روش نمونه گیری طبقه ای انتخاب گردید و با توجه به فرمول تعیین حجم نمونه تعداد ۸۸ نانوایی به عنوان نمونه های تحقیق به شرح زیر انجام گردید:

$$n_0 = \frac{z^2 p(1-p)}{d^2} = \frac{(1.96)^2 (0.9)(0.1)}{(0.05)^2} = 139$$

p در بررسی مقدماتی برابر ۰.۹ بدست آمد لذا تعداد حجم نمونه بترتیب زیر محاسبه گردید:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} = \frac{139}{1 + \frac{139}{241}} = 88$$

جدول ۱ - برخی شاخص های آماری مربوط به کمیات اندازه گیری شده و شاخص WBGT

مفهوم	کمیات	تعداد	شاخص آماری	
			میانگین	انحراف معیار
دمای خشک	$t_a(^{\circ}\text{C})$	۸۸	۳۲/۳۷	۲/۹۹
دمای تر	$t_w(^{\circ}\text{C})$	۸۸	۱۹/۷	۲/۲۸
دمای تر طبیعی	$t_{nw(^{\circ}\text{C})}$	۸۸	۲۱/۰۵	۱/۶
دمای گویسان	$t_g(^{\circ}\text{C})$	۸۸	۳۱/۵	۳/۵۳
میانگین دمای تشعشعی	MRT($^{\circ}\text{F}$)	۸۸	۱۰۶/۰۷	۸/۹۷
سرعت جریان هوا	V(fpm)	۸۸	۴۷/۵	۷۴/۲۳
تبادل حرارت از طریق جابجایی	C(BTU/h)	۸۸	-۱۱۰/۴۶	۴۲/۱۳
تبادل حرارت از طریق تابش	R (BTU/h)	۸۸	۱۸۵/۲۹	۱۵۸/۷۴
شاخص تر گوی سان	WBGT ($^{\circ}\text{C}$)	۸۸	۲۵/۵۸	۱/۹۷

همبستگی ضعیفی را نسبت به WBGT با این کمیات نشان داده است. همچنین شاخص HSI با مقدار E، رابطه ضعیفی را نشان داده است ($r=0/147$). این رابطه از نظر آماری معنی دار نبوده است ($p=0/172$) ولی بین شاخص WBGT و E_{req} ضریب همبستگی بالایی ($r=0/709$) برقرار بوده است. شاخص HSI با مقدار انرژی مبادله شده از طریق تابش R حتی رابطه معکوس نشان داده است ($r=-0/045$) که برخلاف انتظار می باشد. در حالیکه این مقدار برای شاخص WBGT عدد بالایی بوده است ($r=0/621$).

نتایج این تحقیق نشان داده است که مقادیر WBGT دارای انحراف محدودی از میزان حد مجاز بوده اند اما مقادیر HSI نشان دهنده انحراف بسیار زیادی از میزان حد مجاز بوده است. تحلیل نتایج نشان داد که ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر شاخص HSI با WBGT برابر $0/509$ بوده است لیکن به دلیل وابستگی شدید شاخص HSI به سرعت جریان هوا ($r=-0/811$) سبب گردیده است تا مقادیر آن و بالتبع انحراف معیار نیز بالاتر از حد انتظار باشد.

شاخص HSI و WBGT بوده است ($r=0/509$)، همچنین هر دو شاخص با دمای خشک، دمای گویسان همبستگی مستقیم و با سرعت جریان هوا همبستگی معکوس داشته اند. در این جدول نکته بسیار حائز اهمیت ضریب همبستگی بالا بین شاخص HSI و سرعت جریان هوا ($r=-0/811$) می باشد. نکته قابل تامل دیگر همبستگی بسیار خوب بین مقادیر شاخص WBGT با کمیاتی است که بطور عادی در محاسبه شاخص HSI استفاده می گردند. نتایج مربوط به آزمون همبستگی بین مقادیر نیز در این جدول با استفاده از 2 tailed t-test نیز در ردیفهای مربوطه آمده است. شکل شماره ۱ پراکنش مقادیر محدود شده شاخص HSI در مقابل شاخص WBGT را پس از حذف ۸ داده پراکنده نشان می دهد. ملاحظه می گردد که این همبستگی خطی است. در شکل شماره ۲ نیز توزیع فراوانی مقادیر شاخص WBGT در نانوایی های مورد مطالعه نشان داده شده است.

بحث

تحلیل نتایج نشان داد که شاخص HSI با t_g و t_a

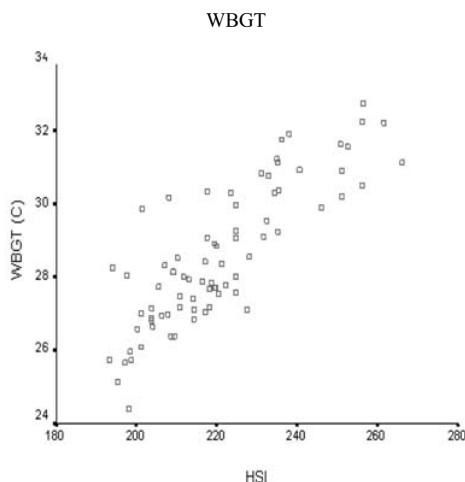
جدول ۲ - نتایج محاسبه شاخص HSI و AET (Allowable exposure Time) در ایستگاههای مورد بررسی در نانوایی ها

مفهوم	کمیات	تعداد	شاخص آماری	
			میانگین	انحراف معیار
حداکثر انرژی قابل مبادله بدن	$E_{max}(\text{BTU/h})$	۸۸	۷۱۹/۲۴	۴۵۲/۸
میزان مبادله انرژی مورد نیاز برای تنظیم دمای بدن	$E_{req}(\text{BTU/h})$	۸۸	۱۳۷۴/۸۲	۱۵۶/۱
شاخص تحلیلی گرمایی	HSI(%)	۸۸	۲۱۴/۱۷	۴۲/۶۹
مدت زمان مجاز مواجهه	AET(min)	۸۸	۱۹/۲۸	۱۰/۸۲

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون و نتیجه آزمون آماری بین کمیات فیزیکی مهم و شاخصه

P-value	r	شاخصها و اجزاء داخلی
./۰۰۰	./۵۰۹	WBGT, HSI
./۰۰۰	./۹۰۱	WBGT, t_g
./۰۰۰	./۷۷۴	WBGT, t_a
./۰۰۰	./۹۱۲	WBGT, t_{nw}
./۰۰۰	./۶۲۱	WBGT, R
./۰۰۰	./۵۴۵	HSI, t_g
./۰۰۲	./۳۳۰	HSI, t_a
./۰۰۰	./۳۸۲	HSI, t_{nw}
./۶۷۹	./۸۱۱	HSI, R
./۰۰۰	./۰۴۵	HSI, V
./۱۷۲	./۱۴۷	HSI, E_{req}
./۰۰۰	./۸۴۷	HSI, E_{max}

شکل ۱- پراکنش مقادیر محدود شده شاخص HSI در مقابل شاخص WBGT



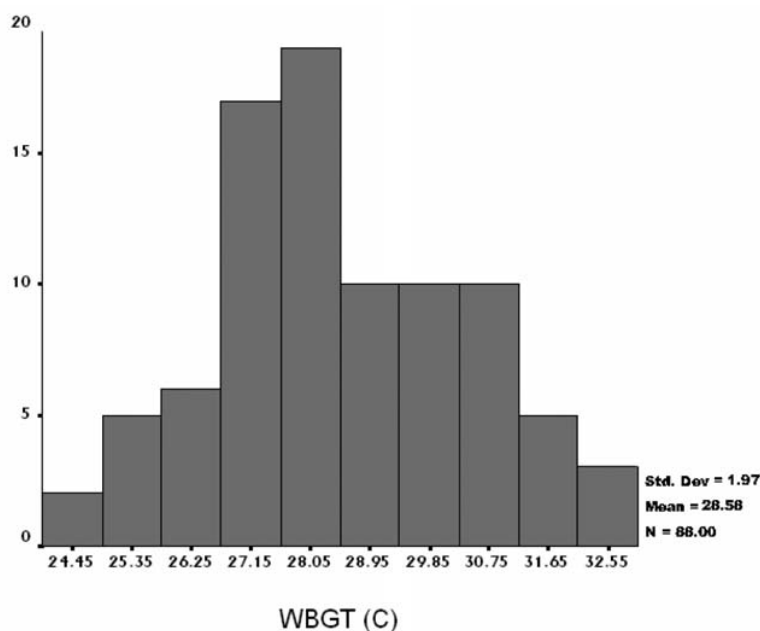
دارای ضعفهای متعددی بوده است.

نتیجه گیری

با توجه به دلایل پیشگفت و تایید بسیاری از پژوهشهای مطرح شده در این مقاله (۴ تا ۱۱) شاخص HSI نتوانسته است که اطمینان کافی را برای استفاده در این تحقیق داشته باشد، لیکن نتایج مربوط به مقادیر شاخص WBGT از نظرات مختلف قابلیت

همچنین میانگین مقادیر شاخص WBGT نشان دهنده انحراف محدودی نسبت به حد مجاز و انحراف معیار کوچکی بوده است ولی مقادیر HSI نشان دهنده انحراف بسیار زیادی از حد مجاز بوده و پراکندگی داده های آن علی رغم تشابه محیطهای مورد بررسی زیاد بوده است. با توجه به نتایج مطالعه توزیع شاخص HSI که یک شاخص تحلیلی است نسبت به شاخص WBGT که یک شاخص ساده و تجربی است،

شکل ۲- توزیع فراوانی مقادیر شاخص WBGT در نانوایی های مورد مطالعه



۹- پورمهابادیان، محمد، بررسی مسائل بهداشت شغلی نانوائی ها در منطقه ای از تهران از نظر گرما، پایان نامه کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای، ۱۳۶۲.

۱۰- جعفری، محمدجواد، تعیین بهینه استرس گرمایی برای کارگران شیفت کار یک کارخانه ریخته گری، پایان نامه کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای، ۱۳۶۷.

۱۱- امیرزاده، فرید، تعیین شاخص استرس گرمایی در یک صنعت گرم و مرطوب، پایان نامه کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای، ۱۳۷۱.

12. **Srivastava, A., et al**, Heat exposure study in the workplace in a glass manufacturing unit in India, *The Annals of Occupational Hygiene*, Vol 44, Issue 6, Sept 2000, pp. 449-453

13. **Peters, H.**, Evaluating the heat stress indices recommended by ISO, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol 7, Issue 1, pp. 1-9, January 1991.

14. **Thomas, E.** Bernard and W. M Hanna, Environmental effects on WBGT and HSI using a computer simulation, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Dec 1988.

15. **Moran, D S., et al**, Evaluation and refinement of the environmental stress index for different climatic conditions, *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*; 14(1): pp1-15, Jan 2003.

16. **Moran, D. S., et al**, An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT), *Journal of Thermal Biology*, August 2001.

17. **Malchaire, J B M.**, Occupational heat stress assessment by the Predicted Heat Strain model, *Ind Health*; 44:380-7, Jul 2006

18. **D'Ambrosio, FR., et al.**, Criteria for assessing severely hot environments: from the WBGT index to the PHS (predicted heat strain) model, *Medicina del lavoro*; 95(4):255-74, Jul-Aug 2004.

19. **Pulket, C ., et al.**, A comparison of heat stress indices in a hot-humid environment, *Am Ind Hyg Assoc J*; 41:442-9, Jun 1980.

خود را به خوبی نشان داده است. در سالهای اخیر نیز تحقیقات متعددی در تایید این مطلب منتشر شده است که علی رغم سادگی شاخص WBGT آن را کماکان به عنوان یک شاخص مطمئن معرفی نموده اند (۱۲ تا ۱۹). با توجه به میانگین مقادیر شاخص WBGT در نانوائی های مورد مطالعه در مقایسه با مقادیر مجاز نشان داده شد که در اغلب کارگاههای مورد بررسی شرایط کار برای کارگرانی که در مقابل تنور مشغول کار بوده اند در محدوده غیر مجاز بوده است و لزوم کنترلهای مدیریتی و فنی برای کاهش استرس گرمایی تاکید می گردد.

منابع

۱- گلبایانی، فریده، انسان و تنش های حرارتی محیط کار، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول ۱۳۸۱.

۲- وزارت بهداشت، حدود مجاز شغلی، کمیته فنی بهداشت حرفه ای کشور، ۱۳۸۲.

3. ACGIH., threshold limit values for chemical substances & physical agents, American Conference on Governmental Hygienists, pp. 176-185, 2004.

4. **Srivatava , A and Kumar ,R.**, Heat exposure studying the workplace in glass manufacturing unit in India. *Occupational Hygiene*, Vol 44, pp. 449-453, 2000.

5. **Derby, W.**, The development of warm weather relative comfort index for environment analysis. University of Delaware, 2001.

6. **Brief, R S and Confer ,RG**, Comparison of heat stress indices, *American Industrial Hygiene Association journal*, Jan 1997.

7. **Wasterlund, D S**, A review of heat stress research with application to forestry, *Applied ergonomics* Vol 29, No 3, pp. 179-183, 1998.

8. **Parker ,R D and Pierce, F D**, Comparison of heat stress measuring techniques in steel mill, *American Industrial Hygiene Association journal*, Jan 1984.