بررسی شاخصهای استرس حرارتی و اعتبار سنجی آنها در واحد ریخته گری مجتمع فولاد مبارکه

دکتر اردشیر کلانتری [۱] ، محمدرضا صادقی علی آبادی [۲]

۱- استادیار و مدیر گروه بهداشت حرفه ای ، دانشکده بهداشت ، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای ، دانشکده بهداشت ، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

چکیده

وجود گرما در صنایع بعنوان یک مشکل جدی مطرح است. در این خصوص شاخصهایی جهت ارزیابی میزان بار گرمایی وارده به کارگر ابداع شده اند و در مطالعات مختلفی این شاخصها مطرح و مورد مقایسه قرار گرفته اند. در این مطالعه اعتبار تعدادی از این شاخصها مورد بررسی قرار می گیرد.

جهت ارزیابی شاخصها و فاکتورهای محیطی از دماسنجهای معمولی، کاتا و همچنین دستگاه GT, WBGT و رطوبت سنج استفاده شد. در مرحله اول واحد ریخته گری به ۱۵ ایستگاه تقسیم بندی شد و در مرحله دوم شروع به اندازه گیری پارامترها شد. سپس اعداد بدست آمده درروابط مخصوص جهت محاسبه شاخصهای استرس حرارتی گنجانده شد. تعداد ۹۰ نفر از مردان سالم و تطابق یافته با گرما انتخاب شدند و برای هر نفر دمای دهانی و دمای عمقی آنها ثبت گردید. سپس نتایج حاصله در برنامه SPSS تحت windows مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ضرایب همبستگی ، میانگین و انحراف معیار برای هر کدام بدست آمد.

در مرحله اول مقادیر میانگین ، حداقل ، حداکثر و انحراف معیار پارامترهای محیطی و شاخصها محاسبه شد. در مرحله دوم ارتباط بین فاکتورهای فردی(دماهای دهانی وعمقی) با پارامترها و شاخصهای محیطی(دمای هوا-دمای تابشی-سرعت جریان هوا ورطوبت نسبی) مورد ارزیابی قرار گرفت که در مورد عوامل استرس زای حرارتی و فاکتورهای فردی رابطه معنی دار مشاهده نشد ($P> ۰/۰۵$). شاخص P4SR با ($P = ۰/۰۰۵$) بیشترین رابطه و همبستگی را نشان داد و بقیه شاخصها ارتباط معنی داری نشان ندادند.

در این مطالعه رابطه بین شاخص P4SR با تمامی متغیرها معنی دار مشاهده شد. بر این اساس این شاخص بعنوان اولین شاخص معتبر در این تحقیق عنوان شد. در بین سایر شاخصها شاخص WBGT بعد از شاخص P4SR بیشترین همبستگی را نشان داد و بقیه شاخصها همبستگی ضعیفی را نشان دادند لذا شاخص P4SR در این تحقیق از اعتبار بالایی برخوردار بود.

کلمات کلیدی : استرس حرارتی ، شاخص استرس حرارتی ، شاخص تجربی ، شاخص تحلیلی، اعتبار سنجی

مقدمه

متجاوز از ۶۰ نوع شاخص استرس حرارتی از زمانی که شاخص ET توسط هوگتون و یا گلو(۱۹۲۳) بعنوان شاخص راحتی بیان شد، معرفی شده است که بسیاری از آنها امروزه نیز مورد استفاده اند. این شاخصها عموماً بدو دسته تقسیم می شوند:

الف) شاخصهای تجربی : اینگونه شاخصها از طریق مطالعات تجربی و آزمایشگاهی با در نظر گرفتن پارامترهای محیطی حاصل شده اند. مانند CET, ET ، دمای کاتا، WBGT, WB و ... این شاخصها خود به دو دسته تقسیم می شوند.

۱. شاخصهایی که بطور وسیعی مورد استفاده اند.

۲. شاخصهایی که تنها برای یک مکان (منطقه) صنعت یا یک فرد بکار می روند

ب) شاخصهای تحلیلی

شاخصهای تحلیلی که بر اساس محاسبات و روابط حرارتی حاصل شده اند:شامل ، شاخص پیش بینی میزان عرق مورد نیاز (Swreq) یا پیش بینی میزان عرق ۴ ساعته (P4SR) و شاخص دیگری که بیانگر دمای مرکزی یا افزایش دمای مرکزی بدن است که توسط ISO (ISO 7933) ارائه شده و دیگری شاخصی است که میزان ضربان قلب را برآورد می کند ودر نهایت شاخصهایی که ترکیبی از دو یا چند پارامتر فیزیولوژیک هستند (۲و۱).

اکثر شاخصهای استرس حرارتی از طریق مطالعات آزمایشگاهی و گردآوری اطلاعات در شرایط ثابت محیطی حاصل شده اند. در حالیکه شرایط واقعی کار در صنایعی از قبیل زغال سنگ و صنعت فولاد همراه تغییرات وسیعی از متغیرهای محیطی و نوع فعالیت فرد می باشد(۳و۲).

با وجود اینکه شاخصهای متعددی طی سالیان متمادی ابداع شده اند ولیکن هیچکدام مورد پذیرش همگان واقع نشده اند. تنها شاخصی که تقریباً بطور وسیع مورد پذیرش واقع شده شاخصWBGT می باشد (۱). بهرحال ، جهت استفاده از یک شاخص در صنعت باید معیارهای زیر در شاخص منظور شده باشد (۴) :

۱. قابلیت کاربرد و دقت لازم در هنگام استفاده
۲. تمامی فاکتورهای مهم (محیطی، متابولیسم، لباس ، شرایط فیزیکی و ...) را در برداشته باشد.
۳. اندازه گیری و محاسبات مربوطه باید ساده باشد.
۴. وسایل و روشهای مورد استفاده جهت سنجش میزان تماس کارگران نباید در فعالیت آنها اختلالی ایجاد کند.
۵. شاخص باید با پارامترها و عکس العملهای فرد همخوانی داشته باشد.
۶. شاخص باید در محدوده وسیعی از شرایط محیطی و متابولیسمی متفاوتی ، قابلیت کاربرد داشته باشد.

نکته ای که در اکثر مطالعات امروزی به چشم می خورد، فقدان یک روش کمّی معتبر (Valid) جهت مقایسه طیف وسیعی از شاخصهای استرس حرارتی می باشد. چنین روشی به بحث و تبادل نظر بیشتر در خصوص کارآیی نسبی و اثرات کمّی شاخصهای متعدد نیازمند است (۱).

بهمین علت در این مقاله سعی شده تعدادی از شاخصهای استرس حرارتی (CE T, WBGT, P4SR , HSI و ET) مورد ارزیابی و اعتبار سنجی قرار گرفته و در پایان یک شاخص معتبر از بین شاخصهای فوق در صنعت مورد نظر ارائه گردد.

مواد و روشها

جهت ارزیابی پارامترهای محیطی (دمای هوا، سرعت جریان هوا، دمای تابشی و رطوبت نسبی) و بدنبال آن ارزیابی شاخصهای حرارتی از وسایل زیر استفاده شد:دماسنج معمولی وترمومتر پزشکی ، دماسنج کاتا، رطوبت سنج چرخان و آسمن، دماسنج گوی سان ، دستگاه سنجش WBGT.

ابتدا کارگاه مورد نظر به ۱۵ ایستگاه تقسیم شد و در هر ایستگاه ۶ کارگر جهت اندازه گیری فاکتورهای فردی (دماهای دهانی ، عمقی) انتخاب شدند. افراد مردان سالم و تطابق یافته با گرما در نظر گرفته شدند. بعد از مشخص شدن ایستگاهها دستگاهها و وسایل در هر ایستگاه مستقر شده و جهت قرائت پارامترهای حرارتی مدت ۱۵ الی ۲۰ دقیقه زمان سپری می شد تا با محیط انطباق حاصل شود.

داده های قرائت شده از دستگاه و وسایل در فرمی ثبت می شد تا در هنگام محاسبه نهایی شاخص مورد استفاده قرار گیرند. در حین اندازه گیری فاکتورهای محیطی، فاکتورهای فردی نیز اندازه گیری و ثبت می شد. میزان متابولیسم افراد نیز بر اساس نوع فعالیت آنها و مدت زمان سپری شده برای هر فعالیت محاسبه می گردید.

محاسبه شاخصها

بعد از مشخص شدن داده های اولیه، شاخصهای مورد نظر (WBGT, HSI, P4SR, CET, ET) با استفاده از فرمولهای ذیل محاسبه شدند:

شاخصهای ,CET وET از روی نموگرامهای خاصی که بهمین منظور وجود دارند با استفاده از فاکتورهای دمای هوا (خشک) و دمای تشعشعی و دمای تر استخراج گردیدند. سپس با استفاده از فرمولهای ذیل مقادیر گرمای مبادله شده به روشهای جابجایی ، تبخیر و تشعشعی مشخص گردید. (۳و۵)

$$C = ۴/۶\ V^{۰/۶}\ (۳۵ - ta) \quad (W/m^2) \qquad R = ۴/۴\ (۳۵-MRT) \quad (W/m^2)$$

$$MRT = tg + (۱/۸V^{۰/۵})\ (tg-ta)(^oc) \qquad E_{max} = ۷V^{۰/۶}\ (۵۶- Pa) \quad (w/m^2)$$

$$E_{req} = M - R - C \quad (W/m^2)$$

مقدار متابولیسم با استفاده از جداول مخصوص و نوع فعالیت افراد بدست آمده و در نهایت با توجه به زمان انجام هر فعالیت مقدار میانگین متابولیسم ثبت می گردید (۳و۶).سپس از این داده ها جهت تعیین شاخصهای استرس حرارتی بطور جداگانه برای هر ایستگاه استفاده شد.لازم به ذکر است فرمولهایی که جهت محاسبه بارهای گرمایی بکار رفته اند، همگی جهت برآورد میزان HSI و زمان مجاز تماس (AET) مورد استفاده اند که توسط مراجع مختلف (از جمله ISO) ارائه شده اند (۳و۵).

نتایج

مقادیر میانگین، حداکثر، حداقل و انحراف معیار شاخصهای تجربی و تحلیلی ، همچنین پارامترهای محیطی اندازه گیری شده در جدول (۱و۲) ارائه شده اند:

جدول (۱) مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار شاخصها

شاخص	تعداد	حداقل	حداکثر	انحراف معیار ± میانگین
HSI	۱۵	۲۷	۹۵	۵۱/۶ ± ۲۰/۹۵
ET	۱۵	۲۱/۰۰	۳۱/۵۰	۲۷/۱ ± ۲
CET	۱۵	۲۱/۰۰	۳۱/۰۰	۲۸/۸ ± ۲/۶
P4SR	۱۵	۰/۲۴	۴/۰۰	۱/۲ ± ۱/۱
WBGT	۱۵	۱۹/۰۰	۳۱/۰۰	۲۷ ± ۳/۲

جدول (۲) مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار پارامترهای محیطی مورد ارزیابی

پارامتر محیطی	تعداد	حداقل	حداکثر	انحراف معیار ± میانگین
دمای محیط	۱۵	۲۳/۰۰	۴۳/۰۰	۲۷/۳ ± ۵/۲۸
رطوبت نسبی	۱۵	۲۴/۰۰	۶۶/۰۰	۳۵/۷ ± ۹/۳۷
سرعت جریان هوا	۱۵	۰	۰/۹۰	۰/۳۲ ± ۰/۳۳
دمای تابشی	۱۵	۵۶/۶۰	۵۶/۶۰	۴۵ ± ۷/۹۵

همچنین پس از تعیین ارتباط (correlation) بین عوامل استرس زای حرارتی و دماهای عمقی و دهانی افراد در واحد ریخته گری به روش (spearman) نتایج زیر حاصل شد:

جدول (۳) همبستگی بین عوامل استرس زای حرارتی و دماهای عمقی و دهانی افراد

دمای بدن	عوامل استرس زای	دمای محیط	دمای تابشی	رطوبت نسبی	سرعت جریان هوا
دمای دهانی	ضریب همبستگی P.value تعداد (نمونه)	۰/ ۱۹ ۰/ ۰۶ ۹۰	۰/ ۰۸ ۰/ ۴۱ ۹۰	- ۰/۰۷ ۰/۴۶ ۹۰	- ۰/ ۱۰ ۰/ ۳۳ ۹۰
دمای عمقی	ضریب همبستگی P.value تعداد	۰/ ۱۹ ۰/ ۰۶ ۹۰	۰/ ۰۸ ۰/ ۴۱ ۹۰	- ۰/۰۷ ۰/۴۶ ۹۰	- ۰/ ۱۰ ۰/ ۳۳ ۹۰

همچنین همبستگی بین شاخصهای استرس حرارتی و دماهای عمقی و دهانی افراد در جدول زیر خلاصه شده اند:

جدول (۴) همبستگی بین شاخصهای استرس حرارتی و دماهای عمقی و دهانی افراد

شاخص استرس حرارتی		ET	CET	P4SR	WBGT	HSI
دمای دهانی	ضریب همبستگی P.value تعداد(نمونه)	۰/ ۱۴ ۰/ ۱۸ ۹۰	۰/ ۱۵ ۰/ ۱۴ ۹۰	۰/ ۲۹ ۰/۰۰۵ ۹۰	۰/ ۱۸ ۰/ ۰۷ ۹۰	-۰/۰۵ ۰/۵۸ ۹۰
دمای عمقی	ضریب همبستگی P.value تعداد	۰/ ۱۴ ۰/ ۱۸ ۹۰	۰/ ۱۵ ۰/ ۱۴ ۹۰	۰/ ۲۹ ۰/۰۰۵ ۹۰	۰/ ۱۸ ۰/ ۰۷ ۹۰	-۰/۰۵ ۰/۵۸ ۹۰

جدول (۵) همبستگی بین شاخصهای استرس حرارتی و فاکتورهای محیطی در واحد ریخته گری

پارامترهای محیطی / شاخص		ET	CET	P4SR	WBGT	HSI
دمای محیط	ضریب همبستگی P.value	۰/۸۳ ۰/۰۰	۰/۸۶ ۰/۰۰	۰/۷۸ ۰/۰۰	۰/۷۷ ۰/۰۰	-۰/۱۵ ۰/۱۵
رطوبت	ضریب همبستگی P.value	-۰/۶۸ ۰/۰۰	۰/۷۱ ۰/۰۰	-۰/۴۴ ۰/۰۰	-۰/۵۹ ۰/۰۰	۰/۱۰ ۰/۳۲
دمای تابشی	ضریب همبستگی P.value	۰/۸۸ ۰/۰۰	۰/۸۴ ۰/۰۰	۰/۷۶ ۰/۰۰	۰/۸۵ ۰/۰۰	-۰/۰۴ ۰/۶۸
سرعت جریان هوا	ضریب همبستگی P.value	۰/۲۰ ۰/۰۵	۰/۱۲ ۰/۲۴	۰/۳۰ ۰/۰۰	۰/۱۲ ۰/۲۵	۰/۷۶ ۰/۰۰

بحث

همانگونه که از جداول (۳و۴) برمی آید: بین عوامل استرس زای حرارتی (محیطی) و دماهای عمقی و دهانی افراد در این مطالعه رابطه معنی داری مشاهده نشد (P >۰/۰۵). ضرایب همبستگی در مورد رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا با دمای دهانی و دمای عمقی افراد، منفی (رابطه عکس) می باشد. همچنین بین شاخصهای استرس حرارتی و دماهای عمقی و دهانی افراد نیز همانگونه که مشاهده می شود (جدول ۴) در مورد شاخص P4SR (P= ۰/۰۰۵) رابطه معنی دار و ضریب همبستگی نیز مثبت (r = ۰/۳۰) است.

در این مطالعه ، مقادیر HSI محاسبه شده، بسیار بالا و غیرواقعی نشان داده شد که این افزایش غیرطبیعی ناشی از وابستگی شدید شاخص HSI نسبت به سرعت جریان هواست. یعنی در ایستگاههایی که سرعت جریان هوا ناچیز یا کم بوده، مقدار HSI شدیداً افزایش یافته است (این یکی از نقاط ضعف شاخص HSI می باشد). اثبات این مطلب در طی آنالیز آماری نیز بچشم می خورد (جدول ۵)، همانگونه که مشاهده می شود بین این شاخص و

سرعت جریان رابطه معنی دار (P< ۰/۰۰۱) و ضریب همبستگی نیز مثبت (r = ۰/۷۶) و نزدیک به عدد ۱ است یعنی رابطه شدید و مستقیم وجود دارد. بنابراین برای اینکه مقادیر HSI محاسبه شده به مقدارهای واقعی نزدیکتر باشند می توان مقدار E_{max} را در رابطه HSI ($HSI = E_{req} / E_{max} \times ۱۰۰$) حداکثر مقدار آن یعنی ۳۹۰ W/m^2 در نظر گرفت تا از پراکندگی بیش از حد مقادیر جلوگیری شود(۷). شاخص WBGT بعد از شاخص P4SR یا تمامی فاکتورهای محیطی (بجز سرعت جریان هوا) رابطه معنی دار (P< ۰/۰۰۱) نشان داد که این ارتباط نیز منطقی بنظر می رسد چون در برآورد میزان WBGT فاکتورهای دمای تر طبیعی، دمای خشک و دمای گوی سان دخالت دارند.

تفسیر یافته ها بر اساس اعتبار سنجی شاخصها : برای ارزیابی یک شاخص از لحاظ اعتبار (validity) آن شاخص باید در مقابل متغیرها یا پارامترهایی که مورد سنجش قرار می گیرد دارای رابطه باشد. اگر این رابطه معنی دار و قوی باشد، شاخص معتبر و در غیر این صورت از اعتبار لازم برخوردار نمی باشد (۵).

بر این اساس چون شاخص P4SR با تمامی فاکتورهای محیطی و فردی رابطه معنی دار نشان داده (P= ۰/۰۰۵) در این مطالعه بعنوان معتبرترین شاخص عنوان شده است.

از طرفی شاخص WBGT به لحاظ آماری در این مطالعه از لحاظ اعتبار بعد از شاخص P4SR قرار می گیرد. حال با توجه به اینکه شاخص WBGT از سوی سازمانها و مراجع مختلف بین المللی و طی مطالعات مختلف بعنوان بهترین و ساده ترین شاخص ارزیابی استرس حرارتی بیان شده که دلیلی بر اعتبار این شاخص است، بنابراین می توان گفت ، شاخص P4SR نیز که در ردیف اول و قبل از WBGT قرار دارد از اعتبار لازم برخوردار خواهد بود.

پیشنهادات

با توجه به نتایجی که بیان شد می توان پیشنهاداتی را جهت مطالعات بعدی بدین صورت ارائه داد که :

۱- چون این مطالعه از نوع مطالعه مشاهده ای مقطعی بوده، توصیه می شود در مطالعات بعدی در صورت امکان مطالعه از نوع Case - Control انتخاب شده و نمونه ها در دو گروه اصلی و شاهد با هم مقایسه شوند.

۲- در این مطالعه ابزار و امکانات کالیبراسیون دستگاهها و وسایل فراهم نبود، لذا پیشنهاد می گردد در مطالعات مشابه از وسایل کالیبره شده جهت نمونه برداری استفاده شود.

۳- مطالعه مشابهی جهت افراد سازش نیافته و دیگر فصول سال نیز جهت مقایسه نتایج توصیه می گردد.

۴- مطالعه بیشتر در خصوص تأثیر سرعت جریان هوا بر روی شاخص HSI، پیشنهاد می گردد.

۵- مطالعه بیشتر در خصوص اعتبار شاخص P4SR در دیگر صنایع (گرم و مرطوب) نیز قابل بررسی می باشد.

منابع

1- Rick Brake & Grahan Bates; A valid Mehod for comparing Rational and Empirical Heat stress indices. Ann. Occup. Hyg. Vol, 46, No,2, PP,165-174; 2002.

2- P. Mairiaux & Y. Malchaire; Comparison and validation of heat stress indices in experimental studies; Ergonomics, vol: 38, No: 1, PP: 58-72, 1995.

۳- گلبابایی، فریده . امیدواری، منوچهر. «انسان و تنشهای حرارتی محیط کار» فصل ۵، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۸۱.

4- Occupational Exposure to hot environments , NIOSH criteria 1986.

5- Damian Bethea & ken Parsons; "The development of a practical heat stress assessment methodology for use in UK industry; http: //www.hse.gov.uk/research/ rrpdf/rr008.pdf;2002.

۶- مرکز توسعه سلامت کار، وزارت بهداشت و درمان و آموزش پزشکی «حدود تماس شغلی عوامل بیماریزا» ، ۱۳۸۱.

۷- جعفری، محمد جواد،" معرفی شاخص بهینه استرس حرارتی برای کارگران یک واحد ریخته گری در تهران" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، سال ۱۳۶۷ .