

تعیین شاخص بهینه استرس های حرارتی در صنایع ریخته‌گری و دایکاست راه‌سازی با استفاده از مدل Topsis-FAHP

مریم دهقانی پور^۱ - منوچهر امیدواری^{۲*} - فریده گلبابایی^۳

omidvari88@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۶

چکیده

مقدمه: استرس گرمایی در صنایع ریخته‌گری و دایکاست و راه‌سازی یکی از مخاطرات زیان آور در محیط کار می‌باشد که نه تنها باعث بیماری های ناشی از کار می‌گردد بلکه از نظر عملکرد و ایمنی کارگران نیز مهم است. از آنجایی که شاخص‌هایی که برای ارزیابی استرس گرمایی مورد استفاده می‌گیرند بسیار زیاد هستند انتخاب یک شاخص مناسب سخت است. هدف از انجام این مطالعه تعیین شاخص بهینه استرس حرارتی در صنعت ریخته‌گری ذوب فلزات و دایکاست و راه‌سازی به روش FAHP و Topsis می‌باشد.

روش کار: جهت تعیین شاخص بهینه استرس حرارتی در صنعت ریخته‌گری، ذوب فلزات و دایکاست، ابتدا معیارها که شامل دقت اندازه‌گیری و راحتی اندازه‌گیری، جامعیت، زمان، هزینه، معیار هم‌بستگی می‌باشد توسط خبرگان تعریف شده و سپس بر اساس این معیارها بهترین شاخص استرس حرارتی طبق نظرات گروهی صاحب نظران و با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی FAHP و Topsis تعیین شدند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که با توجه به معیارها و شرایط موجود شاخص WBGT، P4 SR در سه صنعت ریخته‌گری، دایکاست و راه‌سازی به ترتیب رتبه اول و دوم را به‌خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری: این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص WBGT با توجه به معیارهای جامعیت، دقت، هزینه، هم‌بستگی با استرین‌ها، راحتی و زمان بهترین شاخص ارزیابی استرس حرارتی در سه صنایع ریخته‌گری، دایکاست و راه‌سازی و مهم‌ترین علت قرارگیری شاخص HSI در رتبه‌های آخر پیچیدگی و هزینه بر بودن محاسبات آن می‌باشد.

کلمات کلیدی: شاخص‌های استرس گرمایی، FAHP- TOPSIS, HSI, P4SR, CET, WBGT

۱- کارشناس ارشد رشته HSE، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
 ۲- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران
 ۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

مقدمه

در حال حاضر بیش از ۶۰ شاخص استرس حرارتی وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایب هستند. تلاش بر این است که یک شاخص معتبر و کامل جهت ارزیابی استرس حرارتی ابداع شود که بتواند شرایط محیطی را از لحاظ استرس حرارتی توصیف کند (۱). شاخص‌های مورد استفاده برای سنجش وضعیت تنش‌های گرمایی در قالب سه طبقه کلی زیر مورد سنجش قرار می‌گیرند: ۱- شاخص‌های تحلیلی (منطقی) ۲- شاخص‌های تجربی ۳- شاخص‌های راحتی. شاخص‌های تحلیلی بر اساس اصول تبادلات حرارتی، تعادل حرارتی افراد، پاسخ انسان در محیط‌های گرم، خنثی و سرد پایه ریزی شده است. از مهم‌ترین شاخص‌های تحلیلی می‌توان به: ITS، Sw_{req} و AET اشاره کرد که شاخص Sw_{req} به‌عنوان پایه شاخص HSI از شاخص‌هایی است که توسط برخی از منابع معتبر توصیه شده است. قابل ذکر است که شاخص HIS در منابع جدید به‌عنوان شاخص PHS ذکر گردیده است که در ساختار آن از روابط تحلیلی انتقال حرارت استفاده شده است (۲۳). شاخص‌های تجربی برآورد آن‌ها براساس تبادلات حرارتی بدن انسان با محیط اطراف مورد تحلیل قرار نگرفته بلکه بر اساس پاسخ انسان به عوامل مختلف محیطی پایه ریزی گردیده است. ارزیابی این شاخص‌ها بر اساس تجربیاتی است که روی انسان صورت گرفته است. این شاخص‌ها خود به دو گروه تقسیم می‌شود که یک گروه آن‌ها شاخص‌هایی می‌باشند که ارزیابی را در طول یک دوره زمانی انجام می‌دهد که از معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به WBGT و WGT اشاره نمود (۴). گروه دوم شاخص‌هایی می‌باشند که ارزیابی را در یک زمان خاص انجام می‌دهد که می‌توان به شاخص P4SR ، Oxford اشاره نمود. شاخص WBGT از مهم‌ترین

شاخص‌های تجربی بوده که در استانداردهای مختلف به کاربردهای وسیع آن‌ها اشاره گردیده است (۵). از سویی شاخص P4SR از شاخص‌هایی است که از گذشته مورد توجه بسیاری از محققین بوده است (۷۶). از بین شاخص‌های راحتی که اساس آن مدل تبادل حرارتی بوده ولی در دامنه راحتی نه استرس عمل می‌کند، می‌توان به PMV-PPD، CET و ET اشاره نمود. شاخص CET از شاخص‌هایی است که نه تنها تاثیر انرژی تابشی در آن لحاظ گردیده است، بلکه اندازه‌گیری آن راحت بوده و نیاز به پارامترهایی زیادی در اندازه‌گیری ندارد. شاخص CET از جمله شاخص‌هایی است که در بسیاری از صنایع و منابع در دسترس جهت ارزیابی استرس‌های حرارتی نیز به‌کار گرفته شده است. هم‌چنین این شاخص در برخی از منابع به‌عنوان شاخص ارزیابی‌کننده راحتی حرارتی هم معرفی شده است (۸-۱۱).

در تحقیقی که کرایلیکووا و همکاران با عنوان ارزیابی گرمای محیط کار بر اساس شاخص‌های استرس حرارتی محیط کار در سال ۲۰۱۳ انجام دادند، به اهمیت ارزیابی استرس‌های حرارتی برای افزایش کارایی اشاره نمودند (۱۲). حاجی عظیمی و همکاران در سال ۲۰۱۱ به لزوم کنترل استرس‌های حرارتی در صنایع ذوب اشاره نموده اند (۱۳) در مطالعه فلاحی و همکاران در سال ۲۰۱۲، یکی از مهم‌ترین مشکلات در صنایع گرم استرس‌های حرارتی است که می‌تواند اثرات زیادی را در فرایند کار و سلامت کارکنان داشته باشد. در این تحقیق شاخص WBGT را به‌عنوان یکی از شاخص‌های مناسب در بررسی استرس حرارتی معرفی می‌کند (۱۴). در مطالعه ای که توسط فوجی و همکاران (۲۰۰۷) در یک کارخانه تولید قطعات فلزی انجام شد، میزان استرس حرارتی کارکنان به کمک شاخص WBGT مورد سنجش قرار گرفت و عنوان نمودند که شاخص

روش کار

این تحقیق از نوع توصیفی - حل مدل است که در آن به تعیین شاخص استرس حرارتی بهینه پرداخته شده است. در این تحقیق سه صنعت ذوب، دایکاست و راه‌سازی به صورت موردی جهت بررسی مورد ارزیابی قرار گرفته است. علت انتخاب این سه صنعت این بوده که بتوان شرایط مختلف محیطی را در صنایع دارای استرس حرارتی مورد ارزیابی قرار داد. به طوری که صنعت ریخته‌گری دارای دمای تابشی بالا و متابولیسم بالا بوده در حالی که صنعت دایکاست دارای دمای تابشی بالا بدون متابولیسم بالا می‌باشد. صنعت راه‌سازی دارای دمای تابشی نسبتا بالا و دارای جریان هوای نسبتا بالا می‌باشد. مراحل انجام این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه با توجه به نوع شاخص‌ها، ۴ نوع شاخص از گروه‌های مختلف که عمومیت دارد و در صنایع مورد شناخت و کاربرد می‌باشد انتخاب گردید که شاخص WBGT از شاخص‌های تجربی با ارزیابی طولانی مدت، شاخص P4SR از شاخص‌های

WBGT شاخص مناسب برای ارزیابی استرس‌های حرارتی می‌باشد. در این تحقیق سایر شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار نگرفته و اشاره گردیده است که لازم است استرس‌های حرارتی با سایر شاخص‌ها نیز ارزیابی شده و نتایج آن با یکدیگر مقایسه گردد (۱۵). طی مطالعه وسترلاند (۱۹۹۷) به کاربرد وسیع شاخص WBGT و HSE در ارزیابی‌های استرس حرارتی اشاره نموده ولی مقایسه‌ای روی آن‌ها انجام نشده است (۱۶). کلانتری و همکاران، در سال ۲۰۰۵ شاخص‌های استرس‌های حرارتی را موری اعتبار سنجی قرار داده و به اعتبار شاخص‌های WBGT و P4SR در ارزیابی‌های استرس‌های حرارتی اشاره نموده اند (۱۷).

یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای رتبه بندی گزینه‌ها استفاده از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره می‌باشد (MCDM¹) از بین این روش‌ها روش AHP² از پرکاربردترین این روش‌ها است که در سالهای اخیر از آن در حل بسیاری از مسایل بهداشتی و ایمنی استفاده شده است (۱۸). یکی از مهم‌ترین مشکلات در حل مسایل بهداشتی توسط روش AHP، کیفی بودن متغیرهای تصمیم و گزینه‌ی تصمیم در مسایل بهداشتی است که از عدم قطعیت برخوردار می‌باشد که در این شرایط لازم است از سیستم‌های فازی استفاده شود (۱۹).

یکی از مهم‌ترین سوالاتی که در ذهن متخصصان ایمنی و بهداشت حرفه ای وجود دارد این است که بهترین شاخص ارزیابی استرس‌های حرارتی با توجه به گستردگی آن که بتوان نتایج قابل قبولی را داشته باشد چیست؟ و چگونه می‌توان آن را مورد قبول قرار داد. لذا در این تحقیق با هدف تعیین شاخص بهینه استرس حرارتی در صنایع گرم به اجراء در آمد.



شکل ۱. مراحل انجام تحقیق

1-Multi Criteria Decision Making
2-Analytical hierarchy process

و در آن اولویت هر شاخص نسبت به شاخص دیگر به صورت زوجی با توجه به یک معیار مورد سوال قرار گرفت. روایی و پایایی پرسشنامه‌ها با اساس الفای کرونباخ ($\alpha < 0.86$) و ضریب ناسازگاری ماتریس زوجی (۰,۰۶۷) تعیین گردید.

درخت تصمیم سلسله مراتبی این تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است.

پرسشنامه‌ها بین ۴ خبره که دارای مشخصات زیر بودند توزیع گردید:

۱- آشنایی کامل با شاخص‌های حرارتی متخصص بهداشت حرفه ای

۲- آشنایی کامل با ساختار AHP

۳- آشنایی با مفهوم فازی

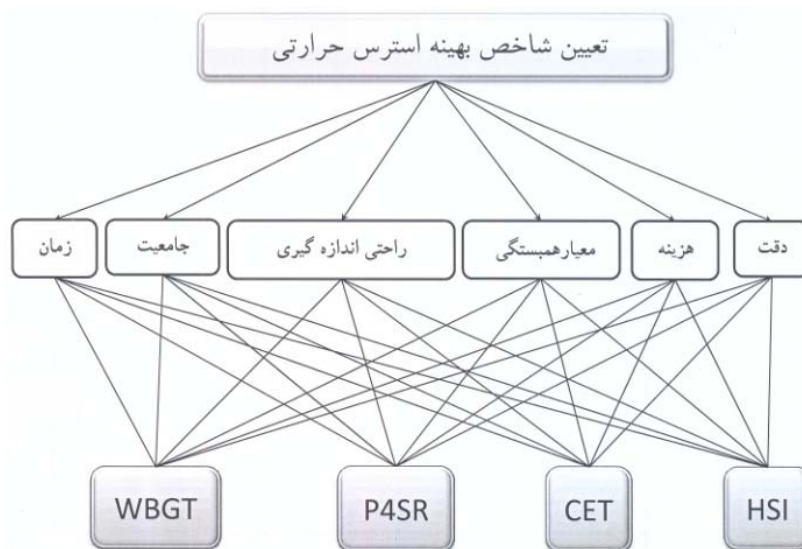
۴- آشنایی کامل با صنایع مورد مطالعه

در قدم بعدی نتایج به دست آمده از پرسشنامه‌ها در ماتریس زوجی قرار گرفته و مراحل AHP در آن انجام شده است.

با توجه به کیفی بودن معیارها، محاسبات در محیط فازی انجام گرفته و از خبره‌ها خواسته شده است که بر اساس عبارات زبانی ارجحیت هر شاخص

تجربی با ارزیابی در یک زمان و محل خاص، HSE از سری شاخص‌های تحلیلی (با توجه به این که در منابع جدید از شاخص PHC استفاده گردیده ولی چون در صنعت شاخص HSI بیش تر معرف خبرگان بوده در این مطالعه نیز از شاخص HSI استفاده شده است) و CET از سری شاخص‌های تجربی- راحتی که در صنایع به عنوان شاخص استرس استفاده می‌گردد، انتخاب گردید. جهت رتبه بندی این شاخص‌ها از معیارهای جامعیت (بتواند در شرایط مختلف ارزیابی استرس را انجام دهد و محدودیت اجرایی نداشته باشد)، دقت (دقت در ارزیابی و عدم وجود محدودیت در شرایط ارزیابی)، هزینه (هزینه بالایی برای اندازه گیری نداشته باشد و نیاز به دستگاه‌ها و پارامترهای زیادی نداشته باشد)، همبستگی (میزان همبستگی آن با شاخص‌های استرینی مانند ضربان قلب و دمای بدن)؛ راحتی (محاسبات آن دارای پیچیدگی نباشد و نیاز به نرم افزار برای محاسبات نداشته باشد) و زمان (زمان لازم برای اندازه گیری بالا نباشد) استفاده گردید.

در مرحله بعد با توجه به گزینه‌ها (شاخص‌های حرارتی) و معیارها پرسشنامه‌های AHP آماده شده



شکل ۲. درخت تصمیم سلسله مراتبی

جدول ۱. عبارات زبانی و دامنه‌های فازی معادل آن

ترم زبانی	عدد فازی مثلثی	معادل فازی
فوق العاده زیاد	(۷,۹,۹)	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ - & - & - \\ 9 & 9 & 7 \end{pmatrix}$
خیلی زیاد	(۵,۷,۹)	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ - & - & - \\ 9 & 7 & 5 \end{pmatrix}$
زیاد	(۵,۷,۹)	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ - & - & - \\ 9 & 7 & 5 \end{pmatrix}$
کمی زیاد	(۳,۵,۷)	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ - & - & - \\ 7 & 5 & 3 \end{pmatrix}$
متوسط	(۳,۵,۷)	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ - & - & - \\ 7 & 5 & 3 \end{pmatrix}$
کمی کم	(۱,۳,۵)	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ - & - & - \\ 5 & 3 & 1 \end{pmatrix}$
کم	(۱,۳,۵)	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ - & - & - \\ 5 & 3 & 1 \end{pmatrix}$
خیلی کم	(۱,۱,۳)	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ - & - & - \\ 3 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
فوق العاده کم	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)

مراحل Topsis

در گام بعد با استفاده از Topsis نسبت به اولویت‌بندی شاخص‌ها اقدام گردید. با توجه به این که Topsis به‌جای زوجی بر اساس حد ایده آل تعریف شده رتبه‌بندی می‌نماید لذا در خصوص حل مسایلی مانند این تحقیق جهت رتبه‌بندی از روش Topsis استفاده شده است. چن و هوانگ مراحل استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل را در یک مساله در مراحل زیر ارائه دادند(۱۸):

ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌های برای معیارهای مختلف ماتریس تصمیم ساخته می‌شود. سپس ماتریس وزن معیارها تعیین می‌شود. در این مرحله ضریب اهمیت معیارهای مختلف تصمیم‌گیری را که در مرحله قبل از AHP به‌دست آوردیم پس از بی‌مقیاس‌سازی با توجه به وزن معیارهای مختلف ماتریس تصمیم وزن دار را از ضرب کردن ضریب اهمیت مربوط به هر معیار در ماتریس بی‌مقیاس شده به دست می‌آید. سپس راه حل ایده آل تعیین می‌گردد.

A^+ : یافتن بهترین مقدار از بین تمام گزینه‌ها

A^- : یافتن بدترین مقدار از بین تمام گزینه‌ها

حل ایده آل و حل ضد ایده آل به ترتیب به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A^+ : \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

$$A^- : \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

که بهترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها فاصله از حل ایده آل و ضد ایده آل را بر طبق فرمول زیر به‌دست می‌آوریم (۱۸).

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i=1,2,\dots,m$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i=1,2,\dots,m$$

را نسبت به شاخص دیگر تعیین نمایید. معادل دامنه‌های فازی منصوب شده به هر ترم زبانی در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نظر خبرگان تمام اعداد فازی (یک عدد فازی مثلثی که با (l, m, u) نشان داده می‌شود) با استفاده از رابطه COA بر اساس تابع عضویت زیر به‌صورت دیفازی در آمده و سپس در ماتریس زوجی قرار گرفته است(۱۷).

$$\begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

ماتریس مقایسه زوجی به صورت شکل زیر ترسیم می‌شود (۲۰):

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

و راه‌سازی تعیین شد که نتایج در جدول شماره ۳ آورده شده است. جهت تعیین وزن نهایی شاخص‌ها ماتریس بی‌مقیاس موزون تعریف گردید که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

بعد از تعیین اهمیت نسبی برای هر یک از گزینه‌ها، گزینه‌ها در این مرحله با توجه به روش Top-SIS، نسبت به رتبه بندی شاخص‌ها در صنایع مختلف اقدام گردید که نتایج آن در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است رتبه اول در هر سه صنعت WBGT شد و رتبه آخر HSI به‌دست آمد. نتایج نشان داد که در هر سه صنعت اختلاف زیادی بین رتبه‌های به‌دست آمده نیست و در هر سه صنعت WBGT و P4SR به‌عنوان شاخص‌های برتر شناخته شدند.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در سه محیط مورد بررسی شاخص WBGT به‌عنوان شاخص برتر معرفی شد. در مطالعه ای که واستر لاند در سال ۱۹۹۸ انجام داد نشان داد که در شرایط وجود تابش حرارتی در محیط، شاخص WBGT بهتر از شاخص‌های دیگر بیان‌گر شرایط گرمایی محیط است که نتایج این تحقیق با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد (۱۶).

سپس شاخص شباهت (CL) را طبق فرمول زیر محاسبه می‌کنیم.

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

در این مرحله با توجه به میزان شاخص شباهت، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند، بطوریکه هر گزینه‌ای که CL آن بزرگ‌تر باشد، بهتر است. قابل ذکر است که تمامی شاخص‌ها و معیارها بر اساس نوع صنعت در مراحل مختلف توسط خبره‌ها تعیین وزن گردیده است و سپس مراحل مختلف محاسبات انجام گرفت.

یافته‌ها

نتایج به‌دست آمده از وزن معیارها در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، معیار «جامعیت شاخص» بالاترین وزن را به‌خود اختصاص داده و «دقت شاخص» و «هزینه شاخص» وزن‌های بعدی را به ترتیب به‌خود گرفته‌اند. هم‌بستگی بین شاخص‌های استرس حرارتی و استرین‌ها در مرتبه بعدی وزن اهمیت را به‌خود اختصاص داده‌اند. ماتریس تصمیم بی‌مقیاس با توجه به شاخص‌ها در سه صنعت مورد مطالعه ذوب فلزات و دایکاست

جدول ۲. اوزان نهایی معیارها

معیارها	جامعیت	دقت	هزینه	هم‌بستگی با استرین‌ها	راحتی	زمان
وزن	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۱۴۴	۰/۰۹۴	۰/۰۰۲

جدول ۳. ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در صنایع

معیارها	دقت			هزینه			هم‌بستگی‌ها			راحتی			جامعیت			زمان		
	بی‌مقیاس	مقیاس	بی‌مقیاس	بی‌مقیاس	مقیاس	بی‌مقیاس	بی‌مقیاس	مقیاس	بی‌مقیاس	بی‌مقیاس	مقیاس	بی‌مقیاس	مقیاس	بی‌مقیاس	مقیاس	بی‌مقیاس	مقیاس	بی‌مقیاس
WBGT	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۹۳	۰/۳۲	۰/۳۴۱	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۳۴۶
P4SR	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۱۸	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۲۹۶	۰/۲۹۷	۰/۳۸۲	۰/۲۸۴	۰/۲۹۲	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۹۵	۰/۴۰	۰/۳۱	۰/۳۱
CET	۰/۱۵۷	۰/۱۷۹	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۲۰۵	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲۷	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۲
HSI	۰/۱۰۳	۰/۱۱۱	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۳۷	۰/۱۱۷	۰/۱۵	۰/۱۳۴	۰/۱۵۳	۰/۱۵۸	۰/۱۴۶	۰/۱۵۵	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۱۰۸	۰/۱۷۹	۰/۱۴	۰/۱۲۴

*- اعداد قید شده در جدول مقادیر نظر خبرگان را نشان می‌دهد

جدول ۴. ماتریس بی مقیاس موزون در صنایع مورد مطالعه

معیارها	دقت			هزینه			همبستگی ها			راحتی			جامعیت			زمان			
	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	بی مقیاس	
WBGT	۰/۰۹۷	۰/۰۹۷	۰/۱	۰/۰۷۲	۰/۰۷۴	۰/۰۸۶	۰/۰۴۷	۰/۰۴۹	۰/۰۴۷	۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹	۰/۰۸۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷
P4SR	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸۲	۰/۰۷۰	۰/۰۶۹	۰/۰۷۰	۰/۰۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	۰/۰۷۶	۰/۰۸۱	۰/۰۸۱	۰/۰۸۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶
CET	۰/۰۴۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۵	۰/۰۳۷	۰/۰۳۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۷۵	۰/۰۵۹	۰/۰۶۱	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
HSI	۰/۰۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	۰/۰۳	۰/۰۲۸۶	۰/۰۲۲	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۷	۰/۰۲۹	۰/۰۲۴	۰/۰۲۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲

*- مقادیر قید شده در جدول موزون شده نظر خیرگان می‌باشد

جدول ۵. رتبه بندی گزینه‌ها در صنایع مورد مطالعه

شاخص‌ها	صنایع		ذوب ریزی		دایکاست		راه‌سازی	
	رتبه	CL	رتبه	CL	رتبه	CL	رتبه	CL
WBGT	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
P4SR	۲	۰/۷۹	۲	۰/۷۷	۲	۰/۷۵	۲	۰/۷۵
CET	۳	۰/۳۷۶	۳	۰/۳۷۸	۳	۰/۳۵	۳	۰/۳۵
HSI	۴	۰/۰۲۵	۴	۰	۴	۰	۴	۰

مخاطرات عوامل زیان آور فیزیکی محیط کار سال ۲۰۰۴، در یکی از صنایع فلزی اصفهان انجام دادند از شاخص WBGT در ارزیابی شاخص‌های استرس حرارتی در محیط کار استفاده نمودند. در همین تحقیق اشاره گردیده است که ارزیابی‌های استرس حرارتی نیاز به بررسی‌های دقیق تری در انتخاب شاخص بهینه دارد (۲۱). به نظر می‌رسد علت استفاده از شاخص WBGT در تحقیقات متعدد که به دلیل توصیه این شاخص توسط سازمان ACGIH بوده است در حالی که یکی از بزرگ‌ترین ضعف‌هایی که این شاخص دارد عدم ارزیابی این شاخص در حالت ارزیابی‌های منقطع و نقطه ای است که این مساله سبب شده است امتیاز جامعیت این شاخص نسبت به سایر معیارها کمتر ارزیابی گردد (۱۳). همان‌طور که نتایج این تحقیق بیان کننده این می‌باشد که ارتباط بین شاخص‌ها و استرس‌ها وجود دارد این مساله در تحقیقی که فلاحی و همکاران با عنوان اعتبار سنجی شاخص‌های استرس حرارتی در WBGT و P4SR به کمک دمای عمقی بدن در سال ۲۰۱۱ انجام دادند نیز مشاهده می‌شود. در همین تحقیق

در همین رابطه نیز در تحقیقی که توسط کاریکوالا و همکاران در سال ۲۰۱۴ با عنوان ارزیابی استرس حرارتی در محیط کار انجام شد شاخص WBGT را به عنوان پرکاربردترین و مورد قبول ترین شاخص در صنعت معرفی کردند. که با نتایج گرفته شده از تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد، به‌طوری‌که در محیط‌هایی که تابش‌ها بالا بوده، شاخص WBGT به عنوان شاخص بهینه در ارزیابی استرس حرارتی معرفی گردیده است (۱۲). برزگر و همکاران در تحقیقی که در سال ۱۳۸۵ در کارخانه نورد و فولاد کرمانشاه انجام دادند از شاخص WBGT در ارزیابی استرس حرارتی در این صنایع استفاده نموده‌اند. ولی در این تحقیق هیچ‌گونه دلیل علمی برای استفاده از شاخص WBGT به عنوان شاخص بهینه ارایه نشده است. به‌طوری‌که با همین پارامترها اگر از شاخص دیگری استفاده می‌شد شاید نتایج مشابه یا مخالف به دست می‌آمد. در همین تحقیق به این نکته اشاره گردیده است که انتخاب شاخص ارزیابی در ارزیابی استرس حرارتی می‌تواند بسیار تاثیر گذار باشد (۲۰). یوسفی و احمدی نژاد در تحقیقی که با عنوان پایش

به استرین‌های محیط کار به‌عنوان یک معیار از طریق روش‌های آماری مورد بررسی قرار گیرد و نتایج آن با سایر معیارها جمع شده و سپس تصمیم‌گیری گردد. از مهم‌ترین محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به تعداد خبرگان و نبود اطلاعات لازم جهت تصمیم‌گیری اشاره نمود که در این رابطه توصیه می‌گردد از اعداد خاکستری که در این شرایط کاربرد بهتری را نسبت به اعداد فازی دارند، استفاده گردد.

هم‌چنین استفاده از شاخص‌های جدید مانند $UTCI^1$ ، ESI^2 ، PHS^3 و Humidex در این تحقیق به دلیل عدم آشنایی بسیاری از صنایع و کارشناسان و عدم وجود نتایج مدون در صنعت مورد استفاده قرار نگرفت که می‌توان با معرفی این شاخص‌ها در صنعت و به کارگیری آن در تحقیقات آتی آن‌ها را نیز مورد بررسی و سنجش قرار داد (۲۵-۲۲).

از طرفی، با توجه به این که یکی از مهم‌ترین معیارها در تصمیم‌گیری می‌تواند ارتباط بین شاخص‌ها باشد، لذا به‌عنوان مطالعات آتی توصیه می‌گردد که در معیارهای تصمیم‌گیری ارتباط بین شاخص‌ها و نیز ارتباط بین شاخص‌های استرسی و استرینی به صورت کمی مدل شده و از مدل‌های تصمیم‌گیری مانند DEMATEL و ANP⁴ در حل مدل استفاده گردد.

تشریح و قدردانی

محققین بر خود لازم می‌دانند که از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات که شرایط انجام این تحقیق را فراهم نمودند تقدیر و تشکر نمایند.

به انتخاب شاخص استرس حرارتی با توجه به ارتباط بین شاخص‌های استرسی و استرینی اشاره گردیده است. نتایج تحقیق حاضر هم وزن بالایی را برای معیار هم‌بستگی نشان داده است که تایید کننده این نتایج می‌باشد (۱۴). در تحقیق انجام شده توسط کلانتری و همکاران شاخص‌های استرس حرارتی را در صنعت ریخته‌گری فولاد مبارکه اعتبار سنجی و ارزیابی نمودند، P4SR را به‌عنوان شاخص معتبر معرفی نمودند و شاخص WBGT در رتبه بعدی قرار گرفت. دلیل این که این شاخص را معتبر نامیدند، این علت که است این شاخص با فاکتورهای فیزیولوژیکی رابطه معنادار داشته است و فقط هم‌بستگی را به عنوان معیار اصلی در تعیین شاخص در نظر گرفته اند در حالی که در تحقیق حاضر معیارهای مختلفی را در انتخاب شاخص بیان نموده است (۱۷).

نتایج نشان داد که شاخص HSI در اولویت آخر قرار دارد که مهم‌ترین علت آن سختی در محاسبات و تفسیر نتایج آن است که اکثر شاخص‌های تحلیلی از این مساله برخوردارند. شاخص CET با توجه به این که جزو شاخص‌های راحتی است، به دلیل عدم وجود محاسبات و تعیین راحت میزان شاخص، مورد استقبال بسیاری از کارشناسان صنعتی قرار دارد.

توجه به نتایج به دست آمده مشخص می‌کند که در وهله اول لازم است برای ارزیابی شاخص‌های حرارتی محیط کار با توجه به معیارهای معرفی شده برای شرایط محیطی مورد ارزیابی بهینه ترین شاخص را انتخاب نموده و سپس ارزیابی‌ها انجام گردد. هم‌چنین در ارزیابی شاخص‌ها لازم است که با توجه

- 1- Universal Thermal Climate Index
- 2- Environmental stress Index
- 3- Predicted Heat Strain
- 4- Analytical Network process

REFERENCES

1. Rick B, Grahan B. A valid method for comparing Rational and empirical Heat stress indice. *Ann. occp. Hyg.* 2002;46(1): 165-174.
2. Malchaire JB, Occupational heat stress assessment by the Predicted Heat Strain model. *Industrial Helth*, 2006;44(3):380-387.
3. Monazam MR, Golbabaei F, Hematjo R, Hosseini M, Nassiri P, Fahang Dehghan S, Evaluation of DI, WBGT, and SWreq/PHS Heat Stress Indices for Estimating the Heat Load on the Employees of a Petrochemical Industry. *IJOH*, 2014; 6(1): 6-10.
4. ISO, ISO-7243: Heat. Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT- INDEX (wet bulb globe temperature), 1989.
5. Parsons K. Heat Stress Standard ISO 7243 and its Global Application. *Industrial Health* 2006;44:368–379.
6. Hicks KE. Computer calculation and analysis of the P4SR heat-stress index, *Environmental Research*, 1971,4(3):253-261.
7. Falahati M, Alimohammadi I, Farshad AA, Zokaei M, Sardar A. Evaluating the reliability of WBGT and P4SR by comparison to core body temperature, *Iran Occupational Health*, 2012,9(1):22-31.
8. ISO, ISO-8996. Ergonomics of the thermal environment determination of metabolic heat production. ISO, 2001.
9. Tomas E B, Ronul RC. Heat stress management: case study in an aluminum smelter. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999;23(5):6-20.
10. Pourmahabadian M, Adelpkhah M, Azam K. Heat Exposure Assessment in the Working Environment of a Glass Manufacturing Unit. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 2008;5(2):141-147.
11. Kurazumi Y, Tsuchikawa T, Matsubara N, Kondo E, Horikoshi T. Evaluation of enhanced conduction-corrected modified effective temperature)ETF(as the outdoor thermal environment evaluation index. *Energy and Buildings*, 2011, 43(10);2926–2938.
12. Kralikova R, Sokolova H, Wessely E. Thermal Environment Evaluation According to Indices in Industrial Workplaces. *Journal Science Direct Procedia Engineering*, 2014;69:158 – 167.
13. Haji Azimi E, Khavanin A, Aghajani M, Soleymanian A. Heat stress measurement according to WBGT index in smelters. *Iranian Journal of Medicine*, 2011;13(2):59-64.
14. Falahati M, Alimohammadi I, Farshad A, Zokaii M. Evaluating the reliability of WBGT and P4SR by comparison to core body temperature. *Iran Occupational Health Journal*, 2012;9(3): 22-31. [Persian]
15. Fujii RK, Horie S, Tsutsui T, Nagano C. Heat exposure control using non-refrigerated water in Brazilian steel factory workers” *Industrial Health*, 2007;45(1) :100-106.
16. Wasterlund DS. A review of heat stress arch with application to forestry, *Applied ergonomics*, 1998;29(3):179-183.
17. Clantary A. Assessment of Heat Stress

- Index, and evaluation of their validity in Mobarakeh Steel Association's Mobarakeh Steel Association's. Iran Occupational Health Journal, 2005; 2 (1):52-56. [Persian]
18. Ataei M. Fuzzy Multi criteria decision making, Shahrood University industrial publication. Iran, 2009:103-104. [Persian]
 19. Saaty TL. Fundamentals of the Analytical Network Process. Processings of ISAHP. Kobe. Japan. 1999;12-14:448-463.
 20. Barzegar A, Sanjabi F, Chaboksavar N. Consideration of wet and bulb temperature index in Kermanshah steel plants in winter and summer season. Tehran: Congress of Safty – Health and Enviroment in Mines Industry, Iran,(2007).[Persian]
 21. Yousefi H. Ahmadinejad P. Assessment of work environment physical hazardous agent in on of Isfahan steel plants. Hamedan: Proceeding Of the 4 Overall Congress of Iranian Occupational Health. Iran, 2004 [Persian]
 22. Vatani J1, Golbabaei F, Dehghan SF, Yousefi A. Applicability of Universal Thermal Climate Index (UTCI) in occupational heat stress assessment: a case study in brick industries. Ind Health, 2016;54(1):14-9.
 23. Moran DS, Epstein Y. Evaluation of the Environmental Stress Index (ESI) for Hot/ Dry and Hot/Wet Climates, Industrial Health, 2006;44:399–403.
 24. OHSCO, Heat Stress Awareness Guide, OHSCO, AppendixB, 2007;11-13.
 25. IOSH, Measuring heat stress in industry Research summary, IOSH, 2010, UK.

Determining the optimal index of heat stress in foundry, die casting and road construction industries using FAHP-Topsis

Maryam Dehghanipoor¹, Manuchehr Omidvari^{2*}, Farideh Golbabaiei³

¹ M.Sc., Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Tehran, Iran

² Associate Professor, Industrial and Mechanical Engineering Faculty, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran

³ Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Heat stress is one of the harmful risks in casting and die casting industries, which can not only cause work-related diseases but also can impair the performance and safety of workers. Since the indicators that are used to evaluate heat stress are very different, it is very difficult to choose a suitable index. The aim of this study was to determine the optimum heat stress index in foundry, die-cast, and road construction industries using FAHP and Topsis methods.

Material and Method: In order to determine optimum heat stress index in foundry, die-cast, and road construction industries, first, the prioritization criteria were defined by experts (including ease of measurement, measurement accuracy, comprehensiveness, time, cost, and correlation). Then, considering these criteria, the best heat stress index was determined based on experts' opinions and using FAHP and Topsis methods.

Result: The results of this study suggest that given the current conditions and criteria, WBGT and P4SR is the best indices for foundry, die casting and construction.

Conclusion: The results showed that according to comprehensiveness, accuracy and correlation criteria, the WBGT index is considered as the best indicator of heat stress assessment in foundry, die-cast and road construction industries. Moreover, the HSI ranked in the last place due to the complexity and cost of its calculation.

Key words: CET, FAHP-Topsis, Heat Stress, HIS, P4SR, WBGT

* Corresponding Author Email: omidvari88@yahoo.com