Journal of Health and Safety at Work 2021; 11(4): 614-626

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Applicability of WBGT index in determining the allowable working time in hot climate conditions

Davood Afshari, Maryam Nourollahi-Darabad*, Gholam-Abbas Shirali

Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

Received: 2019-06-11 Accepted: 2020-10-31

ABSTRACT

Introduction: Heat stress is a critical problem in hot industries, especially in incredibly hot climates. It can greatly impair the work process and put the health of workers at risk. This study aims to investigate the applicability of the WBGT index in determining the allowable working time in very hot weather conditions in one of the steel industries in Ahvaz.

Material and Methods: This study was conducted in different sectors of a steel industry in Ahwaz. The physiological parameters of sixty workers working in different parts of the industry were evaluated. Environmental variables and the Wet-Bulb globe temperature (WBGT) Index were also simultaneously measured during work shifts. The acceptable work time was calculated based on the reserve heart rate (RHR) and the WBGT index.

Results: The heat stress index among all occupational groups, based on the WBGT index, was incredibly high and surpassed the recommended level ($P<0.05$). The statistical test results also indicated a significant difference between the two indices in predicting the adequate work time at different work stations ($P<0.05$).

Conclusion: The current study results revealed that using the WBGT index for assessing and managing the risk of heat exposure in a hot climate may not have sufficient reliability and performance. Consequently, it is recommended to use optimal indices based on environmental and physiological assessments in a hot climate in order to monitor and control the heat stress associated with heat exposure.

Keywords: *Reserve heart rate, Heat stress, Wet-Bulb globe temperature*

1. INTRODUCTION

Working in hot-dry environments can increase the thermal load on the body with adverse consequences ranging from impaired physical and mental performance to serious heat illness [1]. Heat stress due to the hot climate in some heavy industries, such as glass manufacturing, steel casting, brick making, and bakeries, is amplified for those involved in operations close to the heating sources, especially ovens. Despite the wide usage and applicability of the WBGT index, it has limitations, making its function only as a screening tool for thermal conditions. For example, the effectiveness of the WBGT index is limited in extremely hot and humid conditions. Therefore, a more detailed analysis of accurate heat-related physiological responses is strongly recommended for these conditions [2]. In order to take every preventive strategy to protect workers against heat stress, it is important to choose a suitable index that accurately explains environmental parameters to physiological responses. This study intended to investigate the applicability of the WBGT index in determining the allowable working time in very hot weather conditions in one of the steel industries in Ahvaz.

2. MATERIAL AND METHODS

This research was a descriptive-analytical study conducted in different parts of a steel industry in Ahwaz. The physiological parameters of sixty workers from different parts of the industry

* Corresponding Author Email: *maryam.nourollahi@gmail.com*

Copyright © 2021 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

Table 1. Mean (SD) of measured physiological parameters and environmental indicators in different parts of the steel industry

different parts / Variables	Descaling	Casting	Rolled steel	Discharge furnace
Natural wet temperature (°C)	26(65 %)	29(65%)	27(1.1%)	**27(.8%)**
Globe temperature (°C)	51(1.2%)	58(1.8%)	55(2.7%)	**53 (3.2%)**
Relative humidity (%)	31 (6.2%)	28(1.2%)	35(6.2%)	**22 (4.5%)**
Wet-bulb globe temperature (WBGT) (°C)	29/6(2.4)	(1) 32	31.7(.5)	**31(1.2)**
WBGT-TLV (°C)	28	25.9	28	**28**
Metabolic rate (W)	347(23)	475(31)	337 (28)	**371(19)**
Relative heart rate index (RHR%)	26.2(6.5)	34.5(7.4)*	25.2(8)	**24.6 (8.5)**
Maximum acceptable work time (h)	8.2 (3.3)	5.8(3)**	8 (1.7)	**8 (1.6)**

were evaluated. The workers' heart rates were continuously monitored and recorded during work shifts. The heart rates

(HR) were recorded by a Polar Team Pro ® heart rate monitor (Polar Electro, Kemple, Finland). The thermal environment of the work was determined by applying the standard ISO 7243, measured based on the combination of two environmental parameters: wet-bulb temperature (Twn), globe temperature (Tg).In this study, we used calibrated WBGT meter (MK427 JY model, Casella Company) to measure the globe temperature, wet natural temperature. Reserve heart rate (RHR) is a reliable indicator of physical workload [3]. In the study, RHR was calculated using Eq. (1). If the value of this index was more than 33% indicating an increase in physical workload and fatigue [4].

$$HR=\frac{HR\ work-HR\ rest}{(HRmax-HR\ rest)}\times 100$$

RHR: Reserve heart rate

HRwork: Heart rate during work

HRrest: Heart rate during rest

The assessment of the MAWD can be performed on the base of the RHR to prevent excessive fatigue15. The MAWD can be estimated using Eq.2

MAWT= 26.12e-4.81(RHR)

MAWT: Maximum acceptable work time

RHR: Reserve Heart Rate (Eq.1)

3. RESULTS AND DISCUSSION

The highest WBGT index value was estimated in casting with an average of 32° C (Table 1). Based on the WBGT index, among all occupational groups, it was significantly determined to be higher than the recommended level (P<0.05). The reference table in the ACGIH guidelines suggests that working under such conditions increases heat strain risk, leading to acute health implications, such as dehydration, heat cramps, heat exhaustion, and heatstroke [5]. At the global level, our findings are consistent with the level of summer heat exposure reported in different industrial sectors, such as bakeries, steel, glass, the construction industry in other studies in tropical and subtropical countries. A combination of heat gained from the surrounding work environment and heating sources (especially ovens) may be one of the main reasons the WBGT value exceeds the TLV during work. Our results have indicated that equivalent WBGT index values under- or overestimate thermal load in certain conditions. The WBGT-based TLV has a high sensitivity for detecting unsustainable heat exposure but relatively low specificity [7]. Thus, the WBGT index may have resulted in the overestimation of heat stress in this study. Although the extreme values of WBGT compared to TLV, physiological responses such as RHR% and metabolic rate were estimated at a moderate level. Based on the measured WBGT index, the proposed work time for the scale breaker was determined as 4 hours and for the other parts, it was set at 2 hours, while based on the RHR index, the maximum acceptable work time for the casting section was 5 hours and for other parts it was predicted as 8 hours. The results of the statistical test also indicated that there was a significant difference between the two indices in predicting the acceptable work time at different work stations (P <0.05) (Table 2). The practice of self-pacing by workers through the reduction of their metabolic rate to a safety margin has been identified as a protective response to heat exposure in the workplaces. Not accounting for self-

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

Index	Discharge furnace	Rolled steel	Casting	Descaling
RHR%	*8	*8	*5.8	*8.2
WBGT	2	2	2	4
p -value	0.000<	0.000<	0.000<	0.000<

pacing could have resulted in an overestimation of the risk [7]. Bate *et al.* believed that in case of the supply of body fluids and self-pacing in tropical climate conditions, workers can work in summer without serious physiological consequences. They concluded that the use of WBGT values in tropical conditions was not precise and reliable; therefore, the thermal work limit index was suggested for evaluating the heat stress. It is believed that the combined application of the environmental and physiological measurements is a useful tool for better evaluating the heat stress and strain in the hot-dry climate.

4. CONCLUSIONS

The results revealed that using the WBGT index for assessing and managing the heat exposure risk in a hot climate can be insufficient reliability. Based on the results of environmental and physiological monitoring of this study and the limitations of the use of the WBGT index, especially in a hot climate, it is recommended to use appropriate models following the climate conditions of the area to predict the heat stress and strain.

5. ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to appreciate participants for their cooperation. This study was approved by the Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences Ethics Committee (reference number IR.AJUMS.REC.1398.612).

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۱/ شماره ۴/ زمستان ۱۴۰۰ صفحات ۶۱۴-۶۲۶

کاربرد پذیری شاخص WBGT در تعیین زمان مجاز کاری در شرایط آب و هوایی گرم :یک مطالعه موردی در صنعت فولاد شهر اهواز

داوود افشاری،مریم نوراللهی درآباد*، غلامعباس شیرالی

گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز ،اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱۰

چکیده

مقدمه: یکی از مهمترین مشکلات در صنایع گرم بخصوص در شرایط آب و هوایی بسیار گرم، استرس های حرارتی است که می تواند اثرات زیادی را در فرایند کار و سلامت کارکنان داشته باشد. در این شرایط انتخاب یک شاخص مناسب و بهینه جهت ارزیابی استرس های حرارتی و ارائه استراتژی مناسب جهت پیشگیری از مشکلات و بیماری های ناشی از گرما امری ضروری می باشد. لذا هدف از انجام این مطالعه، بررسی کاربرد پذیری شاخص دمای تر گوی سان (WBGT) در تعیین زمان مجاز کاری در شرایط آب و هوایی بسیار گرم در یکی از صنایع فولاد در شهر اهواز می باشد.

روش کار: پژوهش حاضر مطالعه ای توصیفی-تحلیلی بوده که در بخشهای مختلف یک صنعت فولاد در شهر اهواز انجام شد. پارامترهای فیزیولوژیکی ۶۰ کارگر از بخشهای مختلف صنعت، که شامل پایش پیوسته ضربان قلب در طول یک شیفت کاری بود، ارزیابی شد. متغیرهای محیطی و شاخص دمای ترگوی سان نیز بطور همزمان برای یک شیفت کاری اندازه گیری شد و زمان مجاز کاری بر مبنای شاخص ضربان قلب رزرو و شاخص WBGT تعیین و مقایسه گردید.

یافته ها: میزان شاخص استرس حرارتی بر اساس شاخص WBGT در بین کلیه گروههای شغلی بطور معناداری بیش از حد توصیه شده تعیین شد ($P<0.05$). بر مبنای شاخص WBGT اندازه گیری شده زمان کاری پیشنهادی برای قسمت پوسته زدایی ۴ ساعت و برای بخشهای دیگر ۲ ساعت تعیین گردید در حالیکه بر اساس شاخص ضربان قلب رزرو، حداکثر زمان کاری قابل قبول برای بخش ریخته گری ۵ ساعت و بخشهای دیگر ۸ ساعت تخمین زده شد.نتایج آزمون آماری نیز نشان داد که تفاوت معناداری بین این دو شاخص در پیش بینی زمان کاری مجاز در ایستگاههای کاری مختلف وجود دارد. ($P<0.05$).

نتیجه گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از شاخص WBGT به منظور ارزیابی و کنترل ریسک مواجهه به با گرما در مناطق گرمسیری به خصوص در تعیین زمان کار-استراحت ممکن است از قابلیت اطمینان و اجرایی کافی برخوردار نباشد.لذا توصیه می شود در مناطق گرمسیری به منظور پایش و کنترل استرس حرارتی در اثر مواجهه با گرما، از شاخصهای بهینه و کاربردی که مبتنی بر اندازه گیری پارامترهای محیطی و فیزیولوژیکی می باشد، استفاده گردد.

کلمات کلیدی: *شاخص ضربان قلب رزرو(RHR)،استرس گرمایی،شاخص WBGT ،بار کاری فیزیکی*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *maryam.nourollahi@gmail.com*

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

مقدمه

یکی از مهمترین مشکلات در صنایع گرم به ویژه در صورتی که در شرایط آب و هوایی گرم نیز مستقر باشند، استرس های حرارتی است که می تواند اثرات زیادی را در فرایند کار و سلامت کارگران داشته باشد. دمای بدن انسان در محدوده باریک حدود ۳۷ درجه سانتی گراد می باشد و در صورتی که فرد در معرض استرس حرارتی قرارگیرد منجر به افزایش دمای عمق بدن، افزایش ضربان قلب و فشار خون می شود، این شاخص های فیزیولوژیکی ارتباط نزدیکی با استرس حرارتی وارد بر فرد دارند (۱). بنابراین چنانچه استراتژی مناسبی جهت پایش، ارزیابی و کنترل استرس حرارتی در نظر گرفته نشود، ممکن است باعث آسیب و بروزشرایط نامطلوبی در سلامت کارگران و همچنین کاهش بهره وری در سیستم شود.

برنامه های کنترلی و مدیریتی به منظور پیشگیری از بیماری های ناشی از گرما باید بر اساس تعیین شاخص بهینه در ارزیابی استرس حرارتی باشند(۱-۳). یکی از برنامه های کنترل مدیریتی در مواجهه با استرس های حرارتی تعیین زمان کار-استراحت می باشد. بر اساس شاخص ها و استانداردهای موجود می توان رژیم کار-استراحت را بر اساس بار کاری فیزیکی در اثر مواجهه با گرما تعیین نمود. یکی از این شاخص های کاربردی دمای تر گوی سان (WBGT) می باشد. این شاخص در سال ۱۹۵۷ به عنوان یک شاخص تجربی معرفی شده است و بطور گسترده در صنایع مختلف از آن استفاده می شود(۴). در مطالعه ای که توسط Kralikova و همکاران در سال 2014بر روی استرس حرارتی در محیط کار انجام شد، نشان داد که شاخص WBGT پرکاربردترین و مورد قبول ترین شاخص تجربی به منظور ارزیابی استرس حرارتی در صنعت می باشد(۵). به نظر می رسد علت استفاده از شاخص WBGT در تحقیقات متعدد ممکن است به دلیل توصیه سازمان ACGIH جهت استفاده از این شاخص باشد. Srivastava و همکاران در مطالعه ای با استفاده از شاخص های استرس حرارتی به ارزیابی استرس گرمایی در یک کارخانه شیشه سازی پرداختند و در نهایت شاخص WBGTرا به عنوان شاخص بهینه و مناسب برای تعیین ساعات کار و استراحت معرفی نمودند(۶). بر اساس نتایج مطالعات انجام شده، بین شاخص دمای تر گوی سان و شاخص های استرین فیزیولوژیکی تناقض وجود دارد (۷)، در صورتیکه در برخی از مطالعات نیز تاکید شده است که این شاخص، می تواند پیش بینی کننده مناسب برای استرین فیزیولوژیکی در اثر مواجه با گرما باشد (۸، ۹). همچنین بر اساس استانداردهای ایزو ۸۹۹۶ (۱۰) و ایزو ۹۸۸۶ (۱۱) به وضوح اهمیت ارزیابی استرین ناشی از گرما که مرتبط با ضربان قلب است، بیان می شود. از آنجایی که مشخص شده است که دمای هوای محیط و بخصوص در محیط های گرمسیری می تواند تاثیر مهمی در افزایش شاخص استرس حرارتی داشته باشد و با توجه به محدودیت های این شاخص، این احتمال وجود دارد که شاخص WBGT در محیط های گرمسیری، نه تنها در پیش بینی استرین های فیزیولوژیکی بلکه ممکن است به عنوان یک ابزار در کنترل ریسک مواجهه با گرما از قابلیت اطمینان کافی برخوردار نباشد.

یکی از مناطق گرمسیری در کشور ایران شهر اهواز می باشد که در فصل تابستان به عنوان یکی از گرمترین شهرهای دنیا شناخته شده است. کارگران صنایع مختلف در شهر اهواز علاوه بر مواجهه با منابع گرما در محیط کار مجبور به تحمل شرایط آب و هوایی بسیار گرم محیط نیز می باشند. از آنجایی که شاخص استرس حرارتی WBGT از سوی وزارت بهداشت به عنوان یک استاندارد ملی جهت ارزیابی استرس گرمایی و قضاوت های بهداشتی به منظور پیشگیری از بیماری های ناشی از گرما در نظر گرفته شده است، لذا صنایع مختلف نیز بر اساس قوانین و مقررات بهداشتی ملزم به رعایت و اجرای حدود مجاز آن می باشند. با توجه به اینکه در خصوص قابلیت استفاده از این شاخص در شرایط آب و هوایی گرمسیری ایران مطالعات اندکی انجام شده است و مطالعات انجام شده نیز بیشتر به صورت پایش های محیطی و فیزیولوژیکی کوتاه مدت بوده است(۱۲-۱۶)، لذا مطالعه حاضر با هدف، بررسی کاربرد پذیری شاخص WBGT در تعیین زمان مجاز

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

کاری در شرایط آب و هوایی بسیار گرم در یکی از صنایع فولاد در شهر اهواز انجام شد.

روش کار

پژوهش حاضر مطالعه ای توصیفی-تحلیلی بوده که بر روی کارگران سازش یافته و در معرض مواجهه با گرما در صنعت فولاد شهر اهواز انجام شد. ایستگاه های کاری در بخش هایی از خط تولید که کارگران در مواجهه با گرما بودند، انتخاب گردید، این بخش ها شامل :دیس شارژ کوره، بخش ریخته گری، خط نورد و پوسته زدایی بود. با توجه به مطالعات گذشته و همچنین نمونه برداری پیوسته و طولانی مدت، ۶۰ کارگر از ۴ بخش فوق انتخاب گردید بطوریکه از هر بخش ۱۵ کارگر که در نزدیکی منابع گرما مشغول به کار بودند، بصورت تصادفی انتخاب شدند. معیارهای ورود به این مطالعه شامل، سابقه کار بیش از ۳ سال، عدم مصرف دارو و مواد مخدر، نداشتن سابقه فشار خون، سابقه جراحی قلبی، اختلالات تنفسی و بیماریهای قلبی-عروقی بود. به منظور ثبت مشخصات دموگرافیک افراد و تعیین معیارهای ورود به مطالعه یک پرسشنامه تهیه و تنظیم شد. پرسشنامه به صورت مصاحبه حضوری برای هر یک از افراد مورد مطالعه تکمیل گردید و پس از تشریح مراحل انجام مطالعه افراد به صورت داوطلبانه در مطالعه شرکت کردند.

پایش پیوسته ضربان قلب

به منظور پایش پیوسته ضربان قلب از دستگاه تیم پلار (Polar Team Pro) ساخت کشور فنلاند استفاده شد. این دستگاه متشکل از پایه (Base Station)، یک شارژ کننده ترانسمیتر (Transmitter Charger)، ۱۰ عدد ترانسمیتر و کمربند مخصوص خود (Strap) می باشد. هر ترانسمیتر شامل یک حافظه داخلی بوده و بصورت بی سیم اطلاعات را ثبت می کند. برای شروع ثبت ضربان قلب، ابتدا بخش پشتی ترانسمیتر به ژل آغشته شده و به وسیله کمربند در ناحیه زیر جناق سینه و در تماس با پوست بدن بسته شد. پس از نصب کمربند ابتدا ضربان قلب افراد در حالت استراحت به مدت ۳ دقیقه در یک محیط آرام با دمای ۲۱ درجه و در حالت نشسته بر روی صندلی اندازه گیری شد. سپس از افراد خواسته شد بطور طبیعی وظایف خود را انجام دهند. ضربان قلب افراد در حین کار بصورت پیوسته و در طول یک شیفت کاری بجز در دوره های استراحت اندازه گیری شد. پس از جمع آوری اطلاعات درطی یک شیفت کاری روزانه ، اطلاعات ترانسمیتر از طریق کابل به کامپیوتر منتقل شده و با استفاده از نرم افزار دستگاه تیم پلار، اطلاعات آنالیز شد و اطلاعات مورد نیاز استخراج گردید.

تعیین بار کاری فیزیکی (خستگی عمومی) برمبنای ضربان قلب رزرو

به منظور تخمین خستگی عمومی از شاخص ضربان قلب رزرو (Reserve Heart Rate) استفاده شد. در این رابطه به منظور تخمین ضربان قلب رزرو،ضربان قلب در حین کار را بر حداکثر ضربان قلب فرد تقسیم شده و حاصل این کسر در عدد ۱۰۰ ضرب می گردد در صورتیکه مقدار این شاخص بیش از ۳۳ درصد تخمین زده شود، نشان دهنده افزایش بار کار فیزیکی بوده و از نظر فیزیولوژیکی فرد دچار خستگی فیزیکی شده است (۱۷).

تعیین حداکثر زمان کار قابل قبول

به منظور تعیین حداکثر زمان کار قابل قبول بر مبنای ضربان قلب رزرو محاسبه شده، از رابطه (۱) استفاده شد.

رابطه (۱):

$$\text{تعیین حداکثر زمان کار} = 26.12e^{-4.81(\text{ضربان قلب رزرو})}$$

پایش استرس گرمایی(WBGT)

شاخص دمای تر گوی سان (WBGT) به عنوان یک شاخص تجربی برای تعیین استرس گرمایی در محیط های کاری استفاده می شود. به منظور اندازه گیری استرس گرمایی از دستگاه WBGT متر دیجیتال مدل Casella Microtherm ساخت کشور انگیس استفاده شد و همچنین پارامترهای شرایط جوی شامل رطوبت

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

نسبی با استفاده از رطوبت سنج دیجیتال مدل PHB-318 و سرعت جریان هوا با استفاده از آنمومتر حرارتی دیجیتال KIMO-VT50 اندازه گیری شد. با توجه به اینکه ایستگاه کاری کارگران از لحاظ دمایی نامتجانس بود، اندازه گیری های این شاخص در سه ارتفاع سر (۱,۷ متر)- تنه(۱,۱ متر)-قوزک پا (۰,۱ متر) انجام شد و میانگین شاخصWBGT با استفاده از رابطه شماره ۲ تعیین گردید.

با توجه به شرایط آب و هوای گرم و داغ محیط و متغیر بودن دما در طول یک شیفت کاری، مقدار شاخص WBGTباید در مقاطع مختلف زمانی طی شیفت کاری سنجش و سپس متوسط زمانی آن محاسبه شود. بدین منظور اندازه گیری ها هم در زمان استراحت افراد یعنی پیش از شروع به کار(۸ صبح) و بعد از خاتمه کار (ساعت ۱۶ بعد از ظهر) و ۳ مرحله کاری (۸ صبح تا ۱۰ ،۱۰ تا ۱۲ و ۱۲ تا ۱۶ بعد از ظهر) انجام شد و در هر مرحله نیز اندازه گیری ها سه بار تکرار شد. تعیین زمان و فواصل اندازه گیری نیز با بررسی اطلاعات هواشناسی و تعیین ساعاتی که تغییر مشهود در روند دمای هوا به وجود می آمد، انجام شد(۱۸). در نهایت به منظور تعیین متوسط زمانی شاخص WBGT از رابطه (۳) استفاده شد. میزان متابولیسم کاری بر اساس استاندارد ایزو ۸۹۹۶ محاسبه گردید(۱۰). بر اساس این استاندارد میزان بار متابولیکی افراد بر مبنای ویژگی های آنتروپومتریکی مانند وزن، قد و سطح بدن و همچنین میزان ضربان قلب در حالت استراحت و در حین کار محاسبه می شود و با توجه به جدول (۱) میزان متابولیسم کاری (بار کار فیزیکی) تعیین می گردد. با توجه به شاخص WBGT اندازه گیری شده و میزان متابولیسم کاری محاسبه شده، رژیم کار-استراحت و حد مجاز استرس گرمایی بر مبنای استاندارد ایران تعیین گردید(۱۹).

رابطه(۲): محاسبه میانگین شاخص WBGT

$$WBGT=\frac{WBGT_{\text{قوزک}}+WBGT_{\text{کمر}}2+WBGT_{\text{سر}}}{4}$$

رابطه (۳): تعیین متوسط زمانی شاخص WBGT

$$WBGT\text{-}TWA=\frac{(WBGT1\times T1)+(WBGT2\times T2)+....+(WBGTn\times Tn)}{T1+T1+.....+Tn}$$

WBGT : شاخص دمای تر گوی سان

Tn: مدت زمان مواجهه (۸ ساعت)

آنالیز آماری

تمام آنالیزهای آماری این مطالعه با استفاده از نرم افزارSPSS16.0(SPSS Inc ,Chicago IL, USA) انجام شده است. به منظور مقایسه رژیم کار- استراحت بر مبنای دو شاخص و استرس حرارتی WBGT و ضربان قلب رزرو از آزمون تی تست استفاده شد، همچنین با استفاده از آزمون کروسکال والیس وضعیت خستگی عمومی (شاخص ضربان قلب رزرو) در میان کارگران

جدول ۱. تقسیم بندی شدت بار کار فیزیکی بر مبنای متابولیسم کاری

طبقه بندی	متابولیسم کاری(وات)
خیلی سبک	≥۱۵۰
سبک	۱۵۰-۳۰۰
متوسط	۳۰۰-۴۵۰
سنگین	۴۵۰-۶۰۰
خیلی سنگین	۶۰۰-۷۵۰
بی نهایت سنگین	≤۷۵۰

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

بخش های مختلف صنعت مقایسه شد. در این مطالعه سطح معنی دار ۰،۰۵ انتخاب شد.

یافته ها

شرکت کنندگان در این مطالعه با توجه به معیارهای ورود به مطالعه شامل ۶۰ کارگران از بخش های مختلف صنعت فولاد بود. خصوصیات دموگرافیک افراد مورد مطالعه براساس نواحی مورد بررسی در جدول شماره ۲ ارایه شده است.

میانگین و انحراف معیار پارامترهای فیزیولوژیکی و محیطی اندازه گیری شده در نواحی مختلف صنعت فولاد در جدول ۳ و ۴ آورده شده است. بطور کلی بیشترین

جدول ۲. اطلاعات دموگرافیگ کارگران صنایع فولاد

شاخص ها	دیس شارژ کوره (n=۱۵)		نورد (n=۱۵)		ریخته گری(n=۱۵)		پوسته زدایی(n=۱۵)	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
سن(سال)	۳۱/۴	۱۰	۳۸	۱۰	۳۶	۹	۲۹	۸
قد(سانتیمتر)	۱۷۵	۴	۱۷۶	۴/۱۸	۱۷۵	۵	۱۷۵	۵
وزن (کیلوگرم)	۷۹	۱۴	۷۲	۱/۹۲	۷۱	۱۳	۷۶	۹
سابقه کاری(سال)	۱۷	۷	۱۲	۸	۱۷	۵	۸	۵

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار پارامترهای محیطی اندازه گیری شده در بخش های مختلف صنعت فولاد

متغییر / بخش	پوسته زدایی	ریخته گری	نورد	دیس شارژ کوره
دمای خشک(˚C)	۴۲(۱/۵۷)	۴۶ (۳/۲)	۴۱(۱/۲)	۴۱(۱/۸)
دمای تر طبیعی(˚C)	۲۶ (۰/۶۵)	۲۹(۰/۵)	۲۷ (۱/۱)	۲۷(۰/۸)
دمای گوی سان (˚C)	۵۱ (۱/۲)	۵۸ (۱/۸)	۵۵/۵ (۲/۷)	۵۳ (۳/۲)
رطوبت نسبی(%)	۳۱ (۶/۲)	۲۸ (۱/۲)	۳۵(۶/۲)	۲۲ (۴/۵)
سرعت جریان هوا (m.s-1)	۹ (۲/۲)	۵ (۲/۲)	۶ (۱/۷)	۸ (۰/۹)
شاخص دمای تر گوی سان	۲۹/۶(۲/۴)	۳۲ (۱)	۳۱/۷ (۰/۵)	۳۱(۱/۲)
حدود مجاز (TLV)	۲۸	۲۵/۹	۲۸	۲۸
زمان کار-استراحت(٪) بر مبنای شاخص WBGT اندازه گیری شده	۵۰٪ کار ۵۰٪ استراحت	۲۵٪ کار ۷۵٪ استراحت	۲۵٪ کار ۷۵٪ استراحت	۲۵٪ کار ۷۵٪ استراحت

جدول ۴. میانگین و انحراف از معیار خستگی عمومی و زمان کار-استراحت در صنایع فولاد

متغییر / صنایع	پوسته زدایی	ریخته گری	نورد	دیس شارژ کوره
ضربان قلب حین کار(beat/min)	۱۰۲ (۷)	۱۲۵ (۱۱)	۱۰۲ (۷)	۱۰۷ (۸)
متابولیسم کاری (W)	۳۴۷(۲۳)	۴۷۵(۳۱)	۳۳۷(۲۸)	۳۷۱(۱۹)
شدت بار کار فیزیکی	متوسط	سنگین	متوسط	متوسط
شاخص ضربان قلب رزرو (RHR%)	۲۶/۲(۶/۵)	۳۴/۵(۷/۴)*	۲۵/۲ (۸)	۲۴/۶(۸/۵)
حداکثر زمان کاری قابل قبول (Hr)	۸/۲(۳/۳۹)	۵/۸(۳)**	۸ (۱/۷)	۸ (۱/۶)

*اختلاف شاخص ضربان قلب رزرو در بین مشاغل مختلف-**اختلاف حداکثر زمان کاری قابل قبول در بین بخشهای مختلف صنعت

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

جدول ۵. میانگین زمان کاری (ساعت) توصیه شده بر اساس شاخص های فیزیولوژیکی و محیطی

شاخص	دیس شارژ کوره	نورد	ریخته گری	پوسته زدایی
ضربان قلب رزرو	۸*	۸*	۵/۸*	۸.۲*
دمای تر گوی سان	۲	۲	۲	۴
p -value	≤۰.۰۰۰	≤۰.۰۰۰	≤۰.۰۰۰	≤۰.۰۰۰

*اختلاف بین زمان کار-استراحت محاسبه شده بر اساس شاخص استرس حرارتی و شاخص ضربان قلب رزرو

و کمترین مقادیر پارامترهای محیطی و فیزیولوژیکی به ترتیب در نواحی ریخته گری و پوسته زدایی اندازه گیری شده است. بر اساس نتایج، میانگین شاخص دمای تر گوی سان اندازه گیری شده در مقایسه با حدود توصیه شده در بخش های مورد بررسی بیشتر از حدود استاندارد تخمین زده شد.

بر اساس شاخص دمای تر گوی سان و میزان بار متابولیکی، رژیم کار- استراحت برای کارگران بخش پوسته زنی ۵۰ درصد کار و ۵۰ درصد استراحت و برای بقیه بخش ها، ۲۵ درصد کار و ۷۵ درصد استراحت تعیین گردید. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار شاخص ضربان قلب رزرو که نشان دهنده میزان خستگی عمومی نیز می باشد، مربوط به کارگران ریخته گری بوده است(۳۴,۵ درصد)، این شاخص برای بقیه کارگران در نواحی دیگر تقریبا ۲۵ درصد محاسبه شد. بر اساس آزمون کروسکال والیس، شاخص ضربان قلب رزرو بین کارگران ریخته گری با کارگران بخش های دیگر اختلاف معنادار وجود داشت (P_{value}<0.05). بر مبنای شاخص ضربان قلب رزرو ، حداکثر زمان کاری قابل قبول برای کارگران ریخته گری ۵ ساعت و برای بقیه کارگران ۸ ساعت محاسبه شد. نتایج آزمون آماری تی تست نشان داد که بین درصد زمان کار- استراحت تخمین زده شده با استفاده از شاخص استرس حرارتی WBGT و شاخص ضربان قلب رزرو در تمام گروهای شغلی در صنعت مورد نظر تفاوت معناداری وجود دارد (P_{value}<0.05).

بحث

با توجه به اینکه استرس گرمایی به عنوان یکی از ریسک فاکتورهای موثر در ایجاد خستگی فیزیکی و ذهنی شناخته شده است و می تواند تاثیر قابل توجهی بر عملکرد و بازدهی افراد داشته باشد (۲, ۳, ۲۰)، لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی کاربرد پذیری شاخص WBGT در تعیین زمان مجاز کاری در شرایط آب و هوایی بسیار گرم در یکی از صنایع فولاد در شهر اهواز انجام شد. یکی از نقاط قوت این مطالعه نسبت به مطالعات پیشین تعیین ضربان قلب رزرو به عنوان شاخص خستگی فیزیکی در میان کارگران بوده است که بصورت پیوسته و طولانی مدت پایش شد و بر اساس همین شاخص نیز مدت زمان کار مجاز تعیین گردید. علاوه بر این، مطالعه حاضر در یکی از گرمترین شهرهای دنیا انجام شده است که به لحاظ تاثیر شرایط آب و هوای محیطی می تواند یکی از فاکتورهای تاثیر گذار بر استرس حرارتی در میان کارگران باشد.

بر اساس نتایج این مطالعه، میزان استرس حرارتی کارگران در تمامی بخش های مورد مطالعه در صنعت فولاد، بر مبنای شاخص دمای تر گوی سان، بیشتر از حدود توصیه شده تعیین گردید. که در مقایسه با نتایج مطالعات مشابه،کارگران در معرض استرس گرمایی بیشتری می باشند (۶, ۱۳, ۲۱, ۲۲). یکی از دلایل عمده این اختلاف ممکن است مربوط به شرایط آب و هوایی شهر اهواز باشد. بطوریکه در مطالعات نشان داده شده است که دمای بسیار بالای محیط یکی از عوامل اصلی ایجاد استرس های حرارتی در میان کارگران می باشد (۶, ۱۴). به منظور مدیریت ریسک مواجهه با استرس حرارتی و بر مبنای نتایج بدست آمده از شاخص دمای تر گوی سان و با در نظر گرفتن میزان متابولیسم کاری، کارگران

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

در بخش پوسته زنی ۵۰ درصد کار و ۵۰ درصد استراحت و در بقیه قسمتهای صنعت فولاد بایستی ۲۵ درصد از زمان کار خود را صرف فعالیت نمایند و ۷۵ درصد از زمان کاری خود را استراحت نمایند.در حالیکه اجرای این برنامه کنترلی، از نظر مدیریت اجرایی و به دلیل کاهش تولید امکان پذیر نمی باشد.

در بسیاری از مطالعات توصیه شده است که از پارامترهای فیزیولوژیک به منظور تعیین استرین حرارتی در محیط کار استفاده گردد و به عنوان یکی از معیارهای اصلی در انتخاب یک شاخص بهینه و کاربردی در محیط کار وجود ارتباط و همبستگی بین شاخص های محیطی و فیزیولوژیکی می باشد(۲۱, ۲۳).

در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که ضربان قلب یک شاخص مهم و مورد تایید در بررسی استرس گرمایی بوده است بطوریکه این شاخص منعکس کننده تاثیر متابولیسم کاری و استرسورهای محیطی می باشد.این عوامل استرس زا ممکن است بر روی شیب خط و یا رابطه بین ضربان قلب و متابولیسم کاری تاثیر بگذارد. بر اساس استاندارد ایزو ۸۹۹۶ ،در میان این عوامل استرس زا، گرما بیشترین تاثیر را بر روی ضربان قلب دارد (۱۰،۲۴)، بنابراین در مطالعه حاضر این پارامتر به منظور بررسی استرین های حرارتی مورد بررسی قرار گرفت.

بر اساس شاخص ضربان قلب رزرو که نشان دهنده وضعیت خستگی عمومی می باشد (۱۰، ۱۱)، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تنها کارگران بخش ریخته گری ممکن است دچار خستگی عمومی شوند. یکی از دلایل عمده بالا بودن شاخص خستگی عمومی و استرس حرارتی در این ناحیه را می توان نزدیکی کارگران به کوره و تابش مستقیم گرما ناشی از کوره ها دانست. بر اساس شاخص ضربان قلب رزرو، حداکثر زمان کاری قابل قبول برای کارگران بخش ریخته گری ۵/۸ ساعت محاسبه شد در حالی که برای بقیه مشاغل در بخش های دیگر صنعت مورد بررسی زمان کاری ۸ ساعت محاسبه شد. نتایج آزمون تی تست نشان داد که بین درصد زمان کاری قابل قبول حاصل از دو شاخص محیطی، دمای تر گوی سان ، و فیزیولوژیکی،ضربان قلب رزرو تفاوت معناداری وجود دارد.

مطالعات مختلفی نشان داده اند که همبستگی بالایی بین شاخص WBGT و شاخص های فیزیولوژیکی از جمله میزان ضربان قلب وجود دارد، به عنوان مثال غریبی و همکارانش در یک مطالعه نشان دادند که همبستگی قوی بین شاخص WBGT و ضربان قلب وجود دارد ($r = 0.66, P<0.001$) (۲۵). همچنین دهقان پور و همکارانش در مطالعه ای نشان دادند که استفاده از شاخص WBGT به عنوان یک شاخص بهینه در ارزیابی استرس حرارتی در صنایع فولاد و ریخته گری می تواند استفاده شود (۲۶). علاوه بر این، گلبابایی و همکارانش در مطالعه ای شاخص استرس حرارتی در صنعت فولاد را به دلیل بیشترین همبستگی با اکثر پارامترهای فیزیولوژیک به عنوان بهینه ترین شاخص در این صنعت معرفی نمودند (۳)، در حالی که نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ارزیابی شاخص فیزیولوژیکی ضربان قلب و پایش استرس محیطی در تعیین زمان کار-استراحت با یکدیگر منطبق نیستند. یکی از دلایل عدم انطباق مطالعه حاضر با مطالعات قبلی ممکن است به دلیل شرایط آب و هوایی ویژه در شهر اهواز باشد. علاوه بر این همچنین تکنیک و روش ارزیابی شاخص استرین حرارتی نیز ممکن است در تعیین این شاخص مهم باشد، در مطالعه حاضر در مقایسه با مطالعات قبلی شاخص استرین حرارتی بصورت پیوسته و برای یک دوره طولانی مدتی مورد بررسی قرار گرفته است، بنابراین قاعدتا تخمین حاصل از این ارزیابی ممکن است از نظر میزان دقت و صحت با ارزیابی های منقطع متفاوت باشد.

در مطالعه Di Corleto که در صنایع آلومینیوم استرالیا در شرایط آب وهوای نیمه گرمسیری با هدف تعیین شاخص بهینه برای استرس حرارتی با استفاده از پایش فیزیولوژیک ضربان قلب و دمای عمقی بدن انجام شد، به این نتیجه دست یافت که شاخص ایزو 7933برای این صنعت در شرایط آب و هوایی گرمسیری شاخص بهتری است و شاخص WBGT در محدوده

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

دمایی32-28 درجه سانتیگراد مناسب می باشد که تقریبا منطبق با نتایج مطالعه حاضر است (۲۷).

با توجه به نتایج مطالعه حاضر،شاید یکی از دلایل وجود تفاوت معنادار بین زمان کار محاسبه شده بر اساس دو شاخص استرس حرارتی و فیزیولوژیکی، سازگاری افراد با شرایط آب و هوایی بسیار گرم منطقه باشد.با توجه به اینکه در بسیاری از استانداردها، مقادیر ارایه شده برای افراد سازش یافته و سازش نیافته در نظر گرفته شده است، بایستی به این نکته توجه نمود که این مقادیر برای سازگاری افراد در شرایط آب و هوایی گرم پیش بینی شده است (۲۸). بنابراین استفاده از شاخص استرس حرارتی WBGT و با در نظر گرفتن سازگاری افراد با گرما، ممکن است شاخص مناسبی جهت ارزیابی و کنترل استرس حرارتی برای شرایط آب و هوایی بسیار گرم مناسب نباشد. اعتقاد بر این است که بطور معمول حد تحمل و سازگاری افرادی که در شرایط آب و هوایی گرم زندگی می کنند نسبت به افراد مناطق سردسیر در مواجهه با گرما بیشتر است (۲۹). یکی دیگر از دلایل عدم هماهنگی نتایج استرس و استرین حرارتی در تعیین زمان مجاز کاری، بروز پدیده تنظیم شدت فعالیت Self-pacing) توسط فرد برای کاهش شدت استرین گرمایی است که به عنوان یک رفتار حفاظتی در افراد در مواجهه با شرایط آب و هوایی گرم و داغ رخ می دهد (۲۹). این شرایط در ارتباط با مطالعات دیگر که به بررسی ارتباط بین استرین های فیزیولوژیک و تغییرات گرمای محیطی در مناطق گرمسیری انجام شده، مشاهده شده است (۱۵, ۳۰). علاوه بر این در مطالعه ای که Rastogi و همکارانش به منظور بررسی ارتباط بین دمای تر گوی سان و ضربان قلب در کارگران صنعت شیشه در کشور هند انجام دادند، مشخص گردید که دمای گوی سان به تنهایی نمی تواند نشان دهنده استرس گرمایی در مناطق گرمسیری باشد (۳۱). دهقان و همکارانش در مطالعه ای درعسلویه و ذوب آهن و در شرایط آب و هوایی خیلی گرم نشان دادند که بروز پدیده خود تنظیمی میزان فعالیت توسط افراد موجب شد که شاخص WBGT برآورد ضعیفی از دمای عمقی بدن ارائه نماید (۲۶).

نتیجه گیری

بطور کلی بر اساس نتایج مطالعه حاضر مشخص گردید علی رغم استفاده گسترده صنایع از شاخص دمای تر گوی سان و همچنین استفاده از این شاخص به عنوان حدود توصیه شده ایران، ممکن است این شاخص از قابلیت اطمینان کافی در نشان دادن شرایط واقعی فیزیولوژیکی کارگران در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب برخوردار نباشد و استفاده از این ابزار به منظور مدیریت ریسک مواجهه با گرما همچون تعیین رژیم کار-استراحت از قابلیت اطمینان و اجرایی کافی برخوردار نیست، لذا توصیه می شود در مطالعات آینده با توجه به ارتباط شاخص های استرس و استرین حرارتی از یک مدل بهینه و کاربردی که شامل اندازه گیری پارامترهای فیزیولوژیکی و محیطی باشد، جهت پایش و کنترل استرس حرارتی به ویژه در تعیین زمان کار-استراحت در اثر مواجهه با گرما در مناطق گرمسیری استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از کارکنان صنعت فولاد اهواز که در جمع آوری اطلاعات همکاری لازم را با پژوهشگران انجام دادند، مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام می کند. ضمنا این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی با کد اخلاق IR.AJUMS.REC.1398.612 در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز می باشد.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

REFERENCES

1. Noweir MH, Moreb AA, Bafail AO. Study of heat exposure in the work environment in Jeddah. Environmental monitoring and assessment. 1996;40(3):225-37.
2. Chen ML, Chen CJ, Yeh WY, Huang JW, Mao IF. Heat stress evaluation and worker fatigue in a steel plant. Aiha Journal. 2003;64(3):352-9.
3. Ramin M, Golbabaei F, Kakaei H, Ghasemi R. Review of Occupational Heat Stress over the Past 50 Years in Iran. International Journal of Occupational Hygiene. 2016;8(3):179-85.
4. Parsons K. Heat stress standard ISO 7243 and its global application. Industrial health. 2006;44(3):368-79.
5. Kralikova R, Sokolova H, Wessely E. Thermal environment evaluation according to indices in industrial workplaces. Procedia Engineering. 2014;69:158-67.
6. Srivastava A, Kumar R, Joseph E, Kumar A. Heat exposure study in the workplace in a glass manufacturing unit in India. The Annals of occupational hygiene. 2000;44(6):449-53.
7. Wenzel HG, Mehnert C, Schwarzenau P. Evaluation of tolerance limits for humans under heat stress and the problems involved. Scandinavian journal of work, environment & health. 1989:7-14.
8. Griefahn B. Acclimation to three different hot climates with equivalent wet bulb globe temperatures. Ergonomics. 1997;40(2):223-34.
9. Malchaire J, ALFANO FR, Palella BI. Evaluation of the metabolic rate based on the recording of the heart rate. Industrial health. 2017; 55(3):219-32.
10. ISO-8996:2004. Ergonomics of the thermal environment—determination of metabolicrate, 2004. Available from www.iso.org/standard/34251.html (Accessed November 2, 20)
11. ISO 9886 (ED 2) Evaluation of thermal strain by physiological measurements. International Organization for Standardization, Geneva.2004.
12. Stapleton JM, Wright HE, Hardcastle SG, Kenny GP. Body heat storage during intermittent work in hot–dry and warm–wet environments. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2012;37(5):840-9.
13. Hazrati S, Rostami R, Farjaminezhad M, Fazlzadeh M. Preliminary assessment of BTEX concentrations in indoor air of residential buildings and atmospheric ambient air in Ardabil, Iran. Atmospheric environment. 2016;132:91-7.
14. Hamerezaee M, Golbabaei F, Nasiri P, Azam K, Farhang Dehghan S, Fathi A, Darabi F. Determination of optimum index for heat stress assessment on the basis of physiological parameters, in steel industries. Health and Safety at Work. 2018;8(2):163-74.[persian]
15. Modares T. Combined application of wet-bulb globe temperature and heart rate under hot climatic conditions: a guide to better estimation of the heat strain. Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences. 2012;16(2):112-20.
16. Hajizadeh R, Golbabaei F, Farhang Dehghan S, Beheshti MH, Jafari SM, Taheri F. Validating the heat stress indices for using in heavy work activities in hot and dry climates. Journal of research in health sciences. 2016;16(2):90-5.
17. Kiser DM, Rodgers SH. Evaluation of job demands. Ergonomic Design for People at Work. 1986;2.
18. Climate-data.org.Available from https://en.climatedata.org/asia/iran/khuzestan/ahvaz-64519/ (Accessed January 25, 2019).
19. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). (2009)Heat Stress and Strain: TLV® Physical Agents., OH: ACGIH.
20. Parsons K. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance.3th ed. CRC press; 2014 .p.59-77.
21. Nassiri P, Monazzam MR, Golbabaei F, Abbasinia M, Chavoshi M, Taheri F,et al. Exposure to heat stress in the workplace: a systematic review study. Iran Occupational Health. 2018;15(2):118-28. [persian]
22. Golbabaei F, Monazzam M, Hematjo R, Hosseini M, Dehghan SF. The assessment of heat stress and heat strain in pardis petrochemical complex, Tehran, Iran. International Journal of Occupational Hygiene. 2013;5(1):6-11.
23. Falahati M, Alimohammadi I, Farshad AA, Zokaii M, Sardar A. Evaluating the reliability of WBGT and P4SR by comparison to core body temperature. Iran Occupational Health. 2012;9(3):22-31.
24. Afshari D,Moradi S, Angali K.A. and Shirali G.A. Estimation of Heat Stress and Maximum Acceptable Work Time Based on Physiological and Environmental Response in Hot-Dry Climate: A Case Study in Traditional Bakers. The international journal of occupational and

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]

environmental medicine, 2019; 10(4):194-202.

25. Gharibi V, Mohammadbeigi A, Asadi-Ghalhari M, Heidari H. Investigation of the compatibility of wet bulb globe temperature (WBGT) and predicted heat strain (PHS) in assessing the environmental conditions and heat load imposed on individuals: a case study in bakery workers. Health and Safety at Work. 2020;10(1):58-71.
26. Dehghanipoor M, Omidvari M, Golbabaiei F. Determining the optimal index of heat stress in foundry, die casting and road construction industries using FAHP-Topsis. Health and Safety at Work. 2016;6(4):75-8. [persian]
27. Di Corleto R. Evaluation of heat stress indices using physiological comparisons in an alumina refinery in a sub-tropical climate. Deakin University; 1998 Jan 1.
28. Golbabaei F, Omdvari M. Human and environmental heat stress. Tehran: Tehran University Press; 2008.
29. Srivastava A, Kumar R, Joseph E, Kumar A. Heat exposure study in the workplace in a glass manufacturing unit in India. The Annals of occupational hygiene. 2000 Sep 1;44(6):449-53.
30. Mairiaux PH, Malchaire J. Workers self-pacing in hot conditions: a case study. Applied ergonomics. 1985; 16(2):85-90.
31. Rastogi SK, Gupta BN, Husain T. Wet-bulb globe temperature index: a predictor of physiological strain in hot environments. Occupational Medicine. 1992;42(2):93-7.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-03]