Original Article

Combined application of wet-bulb globe temperature and heart rate under hot climatic conditions: a guide to better estimation of the heat strain

Dehghan H[1], Mortazavi SB[1*], Jafari MJ[2], Maracy MR[3]

1- Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, University of Tarbiat Modares, Tehran, I. R. Iran.
2- Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, I. R. Iran.
3- Environment Research Center, Faculty of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, I. R. Iran.

Received February 3, 2011; Accepted January 7, 2012

Abstract:

Background: Working under hot climatic conditions, especially in summer, has a high potential for inducing heat strain in workers. The wet-bulb globe temperature (WBGT) index has an inherent limitation to estimate the heat strain due to not taking into account the non-environmental factors. The aim of this study was to evaluate the combined application of WBGT index and a physiological strain index (PSI_{HR}) based on heart rate in the estimation of the heat strain under hot climatic conditions.

Materials and Methods: This cross-sectional study was conducted on 122 men in the center and south of Iran (51 and 71 workers from Isfahan steel company and Assaluyeh national petrochemical company, respectively) between July and September 2010. The WBGT index, heart rate and the auditory canal temperature were measured at rest and during the work. Data were analyzed using descriptive statistics and logistic regression.

Results: Results of the logistic regression analysis revealed that the WBGT index is a poor predictor for heat strain with a sensitivity and specificity of 53% and 65%, respectively. However, the combined application of the WBGT and PSI_{HR} indexes was a better predictor for heat strain and its sensitivity and specificity were 75% and 69%, respectively.

Conclusion: A combined application of the WBGT and PSI_{HR} indexes can be a valid estimator of heat strain for hot climatic conditions in the center and south of Iran.

Keywords: WBGT index, PSI_{HR} index, Heat strain

* **Corresponding Author.**
Email: mortazav@modares.ac.ir
Tel: 0098 21 828 83845
Fax: 0098 21 828 83825

Conflict of Interests: ***No***

Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences May, 2012; Vol. 16, No 2, Pages 112-120

Please cite this article as: Dehghan H, Mortazavi SB, Jafari MJ, Maracy MR. Combined application of wet-bulb globe temperature and heart rate under hot climatic conditions: a guide to better estimation of the heat strain. ***Feyz*** 2012; 16(2): 112-20.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2025-08-24]

کاربرد توام شاخص دمای تر گوی‌سان و ضربان قلب در شرایط آب و هوایی گرم: راهنمایی برای برآورد بهتر استرین گرمایی

حبیب اله دهقان [۱]، سیدباقر مرتضوی [۲*]، محمدجواد جعفری [۳]، محمدرضا مراثی [٤]

خلاصه:

سابقه و هدف: کار در شرایط آب و هوایی گرم به‌خصوص در فصل تابستان موجب بروز استرین گرمایی در کارگران می‌شود. شاخص دمای ترگویسان (WBGT) به‌دلیل به‌حساب نیاوردن فاکتورهای غیرمحیطی، دارای محدودیت ذاتی در برآورد استرین گرمایی است. هدف از این مطالعه بررسی کاربرد توام شاخص WBGT و مولفه ضربان قلب شاخص استرین فیزیولوژیکی (PSI_{HR}) در برآورد استرین گرمایی در شرایط آب و هوایی گرم بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه مقطعی بر روی ۱۲۲ مرد در مرکز و جنوب ایران (۵۱ نفر از کارکنان شرکت ذوب آهن اصفهان و ۷۱ نفر از کارکنان شرکت ملی صنایع پتروشیمی عسلویه) طی ماه‌های تیر و شهریور سال ۱۳۸۹ انجام شد. شاخص WBGT، ضربان قلب و دمای داخل مجرای گوش در حالت استراحت و کار اندازه گیری شد. از آماره‌های توصیفی و تحلیل رگرسیون لجستیک برای تحلیل داده‌ها استفاده شد.

نتایج: نتایج تحلیل رگرسیون لجستیک نشان داد که شاخص WBGT پیش بینی کننده ضعیفی برای استرین گرمایی است؛ به‌طوری‌که میزان حساسیت و ویژگی آن به‌ترتیب برابر ۵۳ و ٦۵ درصد بود، ولی کاربرد توام شاخص‌های WBGT و PSI_{HR} پیش بینی‌کننده بهتری برای استرین گرمایی است. میزان حساسیت و ویژگی استفاده توام از این دو شاخص به‌ترتیب ۷۵ و ٦۹ درصد بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این مطالعه، کاربرد توام شاخص‌های PSI_{HR} و WBGT ابزار مفیدی برای برآورد بهتر استرین گرمایی در شرایط آب و هوایی گرم جنوب و مرکز ایران است.

واژگان کلیدی: شاخص WBGT، شاخص PSI_{HR}، بر آورد استرین گرمایی

دو ماه‌نامه علمی– پژوهشی فیض، دوره شانزدهم، شماره ۲، خرداد و تیر ۱۳۹۱، صفحات ۱۲۰-۱۱۲

مقدمه

در کشور ما به‌دلیل موقعیت جغرافیایی و ماهیت اکثر فرآیندهای صنعتی، مواجهه با گرما در بسیاری از واحدهای صنعتی (مانند صنایع ذوب و ریخته‌گری، تولید مصالح ساختمانی و نساجی) و غیر صنعتی (مانند فعالیت‌های ساختمانی، کشاورزی و صیادی) به‌خصوص در فصول گرم سال امری معمول است.

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

[۲] دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

[۳] دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

[۴] دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

***نشانی نویسنده مسئول:**

تهران، تقاطع بزرگراه جلال آل احمد و شهید چمران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و محیط

تلفن: ۸۲۸۸۳۸۴۵ ۰۲۱ **دورنویس:** ۸۲۸۸۳۸۲۵ ۰۲۱

پست الکترونیک: mortazav@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۱۴ **تاریخ پذیرش نهایی:** ۹۰/۱۰/۱۷

از طرفی کاربرد پوشش‌های حفاظتی به‌شکل انواع لباس‌های حفاظتی و وسایل حفاظت فردی برای حفاظت کارگران از مواد خطرناک (سموم، میکروارگانیسم‌ها، رادیو ایزوتوپ‌ها و پرتوهای یونیزان و غیر یونیزان)، سطح تبادل گرمای بدن و محیط را محدود می‌نماید و زمینه بروز تنش گرمایی را آماده می‌سازد [۲،۱]. مواجهه طولانی مدت با گرما موجب بروز اختلالات جسمانی (خستگی گرمایی، سنکوپ گرمایی، کرامپ عضلانی و گرمازدگی)، کاهش عملکرد جسمانی و ذهنی، کاهش بهره‌وری، افزایش بروز حوادث و کاهش سطح ایمنی می‌شود [٤،۳]. اگرچه شاخص‌های متعددی برای ارزیابی استرین گرمایی تدوین و ارائه شده‌اند، ولی تعداد اندکی از آنها در سطح وسیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از این شاخص‌ها، شاخص WBGT [.WBGT=0.7Tw+0. 2Tg+0 1Ta (Out door) و یا [WBGT=0.7Tw+0. 3Tg (In door) است که فاکتورهای محیطی مهم را به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم (دمای خشک، دمای تر، میانگین دمای تابشی و سرعت جریان هوا) در ساختار محاسباتی خود وارد می‌نمایند [٦،۵]. نمادهای Tw، Ta و Tg در معادلات فوق به‌ترتیب نمایانگر دمای تر طبیعی، دمای خشک و دمای گویسان است که واحد آنها بر حسب درجه سانتی-

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2025-08-24]

گراد می‌باشد. در ساختار محاسباتی این شاخص، فاکتورهای غیر محیطی مهم در بروز تنش گرمایی به حساب نمی‌آیند و فقط فاکتور لباس، میزان متابولیسم و وضعیت سازگاری فرد به‌صورت ضرایب تصحیح در تفسیر شاخص مورد استفاده قرار می‌گیرد که معمولا در برآورد میزان متابولیسم جهت تفسیر این شاخص تغییرات زیادی مشاهده می‌شود و نتایج حاصل از تفسیر شاخص را دچار نوسان می‌کند [۷]. از دیگر معایب این شاخص جهانی این است که برای مواجهه‌های کوتاه مدت در شرایط خیلی گرم یا فعالیت‌های شدید جسمانی کوتاه مدت، تنش گرمایی را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده [۸] و مناطق گرمسیری، شاخص WBGT میزان تنش گرمایی افراد در معرض گرما را در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مانند چین، هند، تایلند و دوبی بیشتر از حد (Overstimate) بر آورد کرده است [۱۰،۹]. در کانادا کاربرد این شاخص دچار محدودیت‌هایی شده است؛ چرا که جداول کار –استراحت شاخص WBGT بر اساس استاندارد ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)، مقادیر بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد را مورد حمایت قرار نمی‌دهد [۱۱]. شاخص WBGT در شرایط گرم و مرطوب و در کار سبک، با دمای پوست همبستگی خوبی دارد، اما با دیگر متغیرهای فیزیولوژیک مانند ضربان قلب، دمای مقعدی و کاهش وزن ناشی از تعریق همبستگی ضعیفی دارد [۱۲]. از طرف دیگر در فصول گرم سال در شرایط آب و هوایی خلیج فارس با فرض انجام کارسبک، جداول کار–استراحت شاخص WBGT کارآیی لازم و مقبولیت را از نظر عملکرد افراد و بهره‌وری ندارند. برای مثال توسط محقق میانگین و انحراف معیار شاخص WBGT در ماه مرداد سال ۱۳۸۹ در ۷۲ پست کاری شرکت ملی صنایع پتروشیمی (منطقه پارس جنوبی–عسلویه) در بین ساعت ۹ صبح تا ٦ بعد از ظهر به‌ترتیب برابر ۳۳/۲ و۲/۰ اندازه‌گیری شد. شاخص معتبر دیگر برای ارزیابی استرس گرمایی، شاخص استرین فیزیولوژیکی PSI (Physiological Strain Index) است که توسط Moran و همکاران معرفی شد [۱۳]. این شاخص با مقایسه تغییرات دمای عمقی بدن (T) و ضربان قلب (HR) در دو حالت استراحت و کار طبق دو رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$PSI= 5(T_w–T_r)/(39.5–T_r)+5(HR_w -HR_r)/(180- HR_r)$$

$$PSI_{HR}= 5(HR_w-HR_r)/(180-HR_r)$$

نمادهای T_w، T_r HR_w و HR_r در معادله فوق به‌ترتیب نمایانگر دمای عمقی بدن (درجه سانتی‌گراد) و ضربان قلب (تعداد ضربان در دقیقه) در حالت استراحت و کار می‌باشند. مقادیر شاخص PSI دارای گستره عددی (بدون واحد) بین ۰ تا ۱۰ است که مقدار صفر آن بیانگر عدم وجود استرین و مقدار ۱۰ آن بیانگر حداکثر استرین گرمایی است. مقادیر شاخص استرین فیزیولوژیکی بر مبنای ضربان قلب (PSI_{HR}) دارای گستره عددی (بدون واحد) بین ۰ و ۵ است که مقدار صفر آن بیانگر عدم وجود استرین و مقدار ۵ آن بیانگر حداکثر استرین است [۱۳]. روایی شاخص PSI برای مردان و زنان تحت شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. این شاخص فیزیولوژیک، میزان استرین ناشی از عوامل مختلف محیطی، لباس، شدت فعالیت و خصوصیات فردی مانند جنس و سن را مورد ارزیابی قرار می‌دهد [۱۸–۱٤]. کاربرد شاخص PSI برای ارزیابی استرین گرمایی، مستلزم اندازه‌گیری ضربان قلب و دمای عمقی بدن می‌باشد [۱۵–۱۳] که البته اندازه‌گیری ضربان قلب به‌طور سنتی یا کاربرد دستگاه نمایشگر ضربان قلب (Sport tester) ساده، ارزان و عملیاتی می‌باشد، ولی اندازه‌گیری دمای عمقی که دارای صحت لازم باشد (مانند دمای مقعدی، مری و یا کپسول‌های خوراکی فرستنده دمای سیستم گوارشی) همگی جز روش‌های تهاجمی اندازه‌گیری دمای عمقی به حساب می‌آیند [۲۱–۱۹] و کاربرد آنها در محیط‌های کاری کشورهای در حال توسعه مانند ایران غیرعملی است. لذا، برای فائق آمدن بر این مشکل (محدودیت‌های ذاتی و کاربردی شاخص WBGT و غیر عملی بودن اندازه‌گیری دمای عمقی در محیط‌های کار در برآورد استرین گرمایی) ایده کاربرد توام شاخص WBGT (به‌عنوان شاخصی که فاکتورهای موثر محیطی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و به راحتی اندازه‌گیری می‌شود) و فرم تغییر یافته شاخص PSI یا PSI_{HR} که بر مبنای تعداد ضربان قلب محاسبه می‌شود، مطرح گردید. هرچند که شاخص PSI_{HR} فقط وضعیت بار قلبی– عروقی را برآورد می‌کند ولی به اعتقاد Moran، این شاخص در مواقعی که امکان اندازه‌گیری دمای عمقی امکان پذیر نباشد، می‌تواند تا حدودی بار سیستم قلبی- عروقی ناشی از گرما را نشان دهد [۱۲]. لذا، هدف از این مطالعه بررسی کارآیی کاربرد توام شاخص WBGT و PSI_{HR} برای برآورد تنش گرمایی در شرایط آب و هوایی گرم - مرطوب و گرم –خشک بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه مقطعی-تحلیلی، بر روی ۷۱ نفر از کارکنان شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران واقع در منطقه پارس جنوبی– عسلویه و در مواجهه با شرایط جوی گرم-مرطوب و ۵۱ نفر از کارکنان شرکت ذوب آهن اصفهان و در مواجهه با شرایط جوی گرم–خشک از تیر تا پایان شهریور سال ۱۳۸۹ انجام شد. نمونه‌ها افراد شاغل در پست‌های کاری گرم بودند که فاقد بیماری‌های قلبی–عروقی، تنفسی، عفونی، دیابت، پرکاری غده تیروئید، مصرف کننده داروهای قلبی–عروقی بوده و به‌صورت تصادفی ساده انتخاب

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2025-08-24]

شدند. در این مطالعه برای تعیین میزان کارآیی کاربرد توام شاخص WBGT و شاخص PSI_{HR} در تشخیص تنش گرمایی نیاز به معیار طلایی (Gold Standard) دمای عمقی بدن بود که برای اندازه-گیری آن از دستگاه پایش دمای بدن از طریق گوش (مدل Questemp ii) استفاده شد. این دستگاه شامل یک سنسور دمایی است که در داخل مجرای گوش خارجی قرار می‌گیرد [۲۲] و یک دستگاه پردازشگر و مانیتور که بر روی کمربند فرد نصب می‌شود. در هنگام اندازه‌گیری دمای عمقی، برای به حداقل رساندن تاثیر شرایط جوی بر روی دمای اندازه‌گیری شده، سنسور با فوم عایق (مشابه ایرپلاگ) کاملاً محصور گردید [۲۳]. برای اندازه‌گیری ضربان قلب از دستگاه سنجش ضربان قلب (Polar RS100) استفاده شد. این دستگاه دارای یک سنسور و یک گیرنده (مشابه ساعت مچی) می‌باشد که به‌ترتیب بر روی سینه ومچ دست بسته می‌شود. هم‌چنین، در این مطالعه برای برآورد شدت فعالیت افراد از مقیاس فارسی شده شدت تلاش ادراک شده استون –پارفیت [۲٤] استفاده گردید. در روز قبل از اندازه‌گیری، هدف از انجام مطالعه و رعایت نکاتی از قبیل استراحت کافی در شب، عدم استفاده از قهوه و الکل به افراد یادآوری شد. در روز اندازه‌گیری پس از تعیین وزن و قد، اندازه-گیری ضربان قلب و دمای عمقی بدن در دو مرحله بر اساس استاندارد ISO9886-2001 انجام گرفت. در مرحله اول، پس از ۳۰ دقیقه استراحت در اتاق HSE در زمان‌های ۲۰، ۲۵ و ۳۰، ضربان قلب و دمای عمقی اندازه‌گیری شده و میانگین آن به‌عنوان اطلاعات پایه ثبت گردید (WBGT=22.6±1.9 در اتاق HSE). در مرحله دوم پس از پایان اندازه‌گیری‌ها در حالت استراحت، از فرد خواسته می‌شد که همراه با وسایل اندازه‌گیری به محل کار خود برگردد و کار خود را شروع نماید. در صورتی که محل کار فرد دورتر از ۵۰ متر از اتاق HSE بود، عمل انتقال او با خودرو صورت می‌گرفت. پس از شروع به کار، با نظارت مستمر محقق اندازه‌گیری ضربان قلب و دمای عمقی در زمان‌های ۲۰، ٤۰، ٦۰ دقیقه انجام و ثبت گردید [۲٦،۲۵]. هم‌زمان با اندازه‌گیری ضربان قلب و دمای عمقی، دمای خشک، دمای‌تر، دمای گوی‌سان و شاخص WBGT در زمان استراحت و کار با کاربرد دستگاه WBGT متر (مدل Cassella) نیز اندازه‌گیری گردید (بر اساس استاندارد ISO7243) [۵]. تمام اندازه گیری‌ها در منطقه عسلویه خارج از ساختمان (Out door) و در شرکت ذوب آهن اصفهان در داخل ساختمان (In door) در ساعات ۹ الی ۱۲ و ۱۵ الی ۱۸ انجام گرفت. در تحلیل آماری رگرسیون لجستیک نیاز بود که افراد در دو طبقه دارای استرین گرمایی و فاقد استرین گرمایی طبقه‌بندی شوند. لذا در این مطالعه طبقه دارای استرین گرمایی به گروهی نسبت داده شد که اختلاف دمای عمقی در حالت کا ر و استراحت (ΔT) برابر یا بیشتر از ۱ درجه سانتی‌گراد و طبقه فاقد استرین گرمایی به گروهی نسبت داده شد که ΔT آنها کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد بود [۲۷]. برای تعیین میزان کارآیی متغیرهای پیش‌بین (WBGT و PSI_{HR}) در جداسازی افراد دارای استرین گرمایی و فاقد استرین گرمایی از آزمون رگرسیون لجستیک نرم افزار SPSS ویرایش ۱٦ استفاده شد. جهت بررسی تاثیر کاربرد توام شاخص WBGT و شاخص PSI_{HR} در تشخیص طبقات، درحالت اول فقط شاخص WBGT و در حالت دوم هر دو شاخص (WBGT و PSI_{HR}) به‌عنوان داده ورودی در معادله رگرسیون لجستیک وارد گردیدند و نتایج آن باهم مقایسه شدند. سطح معنی‌داری برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

در این پژوهش از ۱۲۲ فرد شرکت‌کننده در مطالعه، ۷۱ نفر (۵۸ درصد) در شرایط گرم و مرطوب (عسلویه) و ۵۱ نفر (٤۲ درصد) در شرایط گرم و خشک (ذوب آهن اصفهان) اشتغال داشتند. به‌طور کلی میانگین شاخص WBGT، PSI_{HR} و ΔT به‌ترتیب برابر با ۳/۳±۳۲/۳، ۱/۸±۳/۲ و ۰/۵۵±۰/۹۳ بود. بر اساس داده‌های جدول شماره۱، میانگین سن، نمایه توده بدن و شاخص PSI_{HR} افراد شاغل در دو منطقه اختلاف معنی‌دار نداشتند و شاخص‌های WBGT، PSI و اختلاف دمای عمقی بدن در حالت استراحت و کار (ΔT) در افراد دو منطقه اختلاف معنی‌دار داشتند (P=۰/۰۰۱). مقادیر شاخص WBGT در ۱۰۱ ایستگاه کاری (۸۳ درصد) بالاتر از ۳۰ و مقادیر PSI در ۲٦ نفر (۲۱ درصد) بالاتر از مقدار متوسط (مقدار ۵) محاسبه شد و بر اساس معیار دمای عمقی بدن ٦۲ نفر (۵۱ درصد) فاقد استرین گرمایی (ΔT<۰/۹) و ٦۰ نفر (٤۹ درصد) دارای استرین گرمایی (ΔT>۱) بودند. نتایج آزمون رگرسیون لجستیک با متغیرهای پیش‌بین WBGT، WBGT & PSI_{HR} و نوع شرایط آب و هوایی در پیش بینی استرین گرمایی بر اساس ΔT در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. با تحلیل روش رگرسیون لجستیک، متغیرهای پیش بین، رابطه معنی‌داری را با متغیر ΔT نشان دادند (P<۰/۰۵). با افزایش مقادیر متغیرهای پیش بین، خطر بروز استرین گرمایی (افزایش ΔT) افزایش می‌یابد (OR>۱). در معادله رگرسیون لجستیک توام شدن متغیرهای پیش بین در برآورد استرین گرمایی منجر به مناسب‌تر شدن مدل (افزایش مقدار P در آزمون برازش نیکویی Hosmer and Lemeshow) گردید. جدول شماره ۳ مقادیر ویژگی، حساسیت و درصد طبقه‌بندی صحیح (accuracy) برای متغیرهای شاخص WBGT و PSI_{HR} و نوع آب و هوا در برآورد استرین گرمایی در کل افراد و شدت فعالیت‌های مختلف را

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2025-08-24]

نشان می‌دهد. نتایج مطالعه نشان می‌دهند که کاربرد توام دو شاخص و متغیر نوی آب و هوا منجر به افزایش درصد طبقه‌بندی صحیح در فعالیت‌های سبک و سنگین شده است و هم‌چنین حساسیت را در فعالیت‌های خیلی سبک و سبک و ویژگی را در فعالیت‌های متوسط و سنگین ارتقا بخشیده است. مقادیر پیش‌بینی شده استرین گرمایی توسط عوامل WBGT، PSI_{HR} و نوع آب و هوا در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. با ورود شاخص WBGT (به‌تنهایی) در معادله رگرسیون برای پیش‌بینی دمای عمقی، مقدار P در آزمون برازش نیکویی، حساسیت و ویژگی به‌ترتیب ۰/۰۰۸، ٦٥ و ٥٣ درصد محاسبه گردید و با ورود توام شاخص‌های PSI_{HR} WBGT در معادله رگرسیون مقدار P در آزمون برازش نیکویی، حساسیت و ویژگی به‌ترتیب ۰/۳٦، ۷٥ و ٦۹ درصد به‌دست آمد. به‌عبارت دیگر با ورود توام دو شاخص، علی‌رغم بهبود مدل، حساسیت و ویژگی به‌ترتیب ۱۰ و ۱٦ درصد ارتقا یافت. از آنجایی‌که نوع شرایط جوی (گرم- مرطوب و گرم- خشک) بر بروز استرین گرمایی افراد موثر است و با توجه به این‌که میانگین شاخص‌های مرتبط با آن، در دو منطقه گرم و مرطوب (عسلویه) و گرم وخشک (ذوب آهن) اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول شماره ۱). لذا، به‌عنوان یک متغیر (مقدار ۱ برای شرایط گرم-مرطوب و مقدار ۲ برای شرایط گرم-خشک) با متغیر WBGT در معادله رگرسیون وارد گردید که اضافه شدن این متغیر موجب بهبود کمی در مدل همراه با کاهش حساسیت و افزایش ویژگی گردید و سپس با وارد کردن هر سه متغیر پیش‌بین یعنی شاخص WBGT، PSI_{HR} و نوع آب و هوا در معادله رگرسیون منجر به ارائه مناسب‌ترین مدل (افزایش مقدار P در آزمون برازش نیکویی از ۰/۳٦ به مقدار ۰/۸٦) و افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقدار ویژگی (از ٦۹ به ۸۲ درصد) گردید.

جدول شماره ۱- مشخصه آماری افراد و شاخص‌های استرین گرمایی در دو منطقه عسلویه و ذوب آهن اصفهان

مکان	عسلویه (۷۱ نفر)		ذوب آهن (۵۱ نفر)		مقدار P
متغیر	$\overline{X} \pm SD$	(حداکثر- حداقل)	$\overline{X} \pm SD$	(حداکثر- حداقل)	
سن (سال)	۸/٦± ۳۱/٦	(۲۰-۵۵)	٤/۸±۳۲/۱	(۲۳-٤۲)	۰/٦۸۵
نمایه توده بدن	٤/۰±۲۵/۰	(۱۷/۵-۳۷)۱۷/۵	۳/۱±۲۵/۰	(۱۸/۹-۳۱/۷)	۰/۹٦۷
شاخص WBGT	۲/۰±۳۳/۳	(۲٦/٦-۳۸/۸)	٤/٤±۳۰/۸	(۲۲/۳-٤۰/۸)۲۲/۳	<۰/۰۰۰۱
شاخص PSI	۱/٤±۲/۷	(۰/٦-۷/٦)	۱/۸±۳/۸	(۰/٦-۸/۰)	<۰/۰۰۰۱
شاخص PSI_{HR}	۰/۸±۱/۵	(۰/۳-۳/۲)	۱/۰±۱/۷	(۰/۲-٤/۰)	۰/۲۷۱
ΔT^1	۰/۵±۰/۸	(۰/۱-۲/۱)	۰/٦±۱/۱	(۰/۱-۲/٤)	<۰/۰۰۰۱

۱- اختلاف دمای عمقی بدن در حالت کار و استراحت

جدول شماره ۲- نسبت شانس، آماره برازش مدل و سطح معنی‌داری متغیرهای WBGT، PSI_{HR} و نوع آب و هوا در پیش‌بینی دمای عمقی بدن

متغیر پیش‌بینی کننده	ضریب متغیر در مدل	نسبت شانس	حدود اطمینان ۹۵ درصد نسبت شانس		مقدار P در آزمون Hosmer and Lemeshow	مقدار P
			حد پایین	حد بالا		
WBGT	/۱۸٤	۱/۲۰۲	۱/۰٦۲	۱/۳۵۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳
مقدار ثابت	-٦/۰۰۲	-	-	-	-	۰/۰۰٤
WBGT	۰/۰٦۷	۱/۰۷۰	۰/۹۳۳	۱/۲۲۷		۰/۳۳۵
PSI_{HR}	۱/۲۸۲	۳/۰٦۱	۲/۰۷٦	٦/۲٦۰	۰/۳٦۰	<۰/۰۰۰۱
مقدار ثابت	-٤/٤۰۵	-	-	-		۰/۰٤۵
WBGT	۰/۳۲٦	۱/۳۸٦	۱/۱۸۲	۳/۳۱۷		<۰/۰۰۰۱
نوع آب و هوا	۲/۲۳۰	۹/۳۰٤	۱/٦۲۵	۲٦/۰۹٦	۰/۱۰٦	<۰/۰۰۰۱
مقدار ثابت	-۱۳/٦۹٤	-	-	-		<۰/۰۰۰۱
WBGT	۰/۲۱۸	۱/۲٤۰	۱/۰۵۰	۱/٤۷۲		۰/۰۱۲
PSI_{HR}	۱/۲۵۵	۳/۵۱۰	۱/۹۰۰	٦/٤۹۳		<۰/۰۰۰۱
نوع آب و هوا	۲/۱٤۲	۸/۵۲	۲/۷۱۰	۱٦/۹۱۰	۰/۸۵۹	<۰/۰۰۰۱
مقدار ثابت	۱۲/۱٤۲	-	-	-		<۰/۰۰۰۱

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2025-08-24]

جدول شماره ۳- ویژگی، حساسیت و درصد طبقه‌بندی صحیح متغیرهای پیش بین در پیش‌بینی دمای عمقی بدن در کل افراد و بر حسب شدت فعالیت

متغیر پیش‌بینی کننده	آماره	کل افراد n=۱۲۲	شدت فعالیت			
			خیلی سبک n=۱۹	سبک n=۵۲	متوسط n=۳۶	سنگین n=۱۵
WBGT	حساسیت	٦٥	۰	۰	۹۰/٥	۱۰۰
	ویژگی	٥۳	۱۰۰	۱۰۰	۳۳/۳	۰
	طبقه بندی صحیح	٥۹	۸٤/۲	٥٥/۸	٦٦/۷	۸٦/۷
WBGT PSI_{HR}	حساسیت	۷٥	۹٤	۷۹	٤۷	۱۰۰
	ویژگی	٦۹	۳۳	٥۷	۷٦	۱۰۰
	طبقه بندی صحیح	۷۲	۸٤	٦۹	٦٤	۱۰۰
WBGT نوع آب و هوا	حساسیت	٦۰	۳۳	۹۰	۷۱	۱۰۰
	ویژگی	۸۲	۱۰۰	٤۳	٦۷	۰
	طبقه بندی صحیح	۷۱	۸۹	٦۹	٦۹	۸۷
WBGT PSI_{HR} نوع آب و هوا	حساسیت	۷۲	۹٤	۷٦	۸۰	۱۰۰
	ویژگی	۸۲	۳۳	٥۷	۸۱	۱۰۰
	طبقه بندی صحیح	۷۷	۸٤	٦۷	۸۱	۱۰۰

بحث

براساس نتایج مطالعه ملاحظه می‌شود که میانگین شاخص WBGT و مقدار آن در اکثریت ایستگاه‌ها (۸۳ درصد)، از حد آستانه مجاز استاندارد ACGIH بالاتر بود. این در حالی بود که میانگین شاخص‌های فیزیولوژیک شامل PSI و دمای عمقی از حد مجاز کمتر بود و از نظر مقدار در تعداد کمتری از افراد (به‌ترتیب ۲۱ و ٤۹ درصد) از حد مجاز بالاتر بود. اختلاف بین مقادیر شاخصWBGT و شاخص‌های فیزیولوژیک از آنجا ناشی می‌شود که شاخص WBGT یک شاخص تجربی است که فقط فاکتورهای محیطی شامل دمای خشک، دمای تابشی، رطوبت و سرعت جریان هوا را مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهد و سایر فاکتورهای غیر محیطی مهم در بروز استرین گرمایی مانند شدت فعالیت کاری، نوع لباس کار، وسایل حفاظت فردی، وضعیت تطابق فرد با گرما، سن و نمایه توده بدن را نادیده می‌گیرد؛ هرچند که در تفسیر نتایج این شاخص برخی از این فاکتورها به‌عنوان ضریب تصحیح مورد استفاده قرار می‌گیرند که همگی آنها ضرایب افزایش مقدار هستند. در این مطالعه یکی از دلایل عدم هم‌خوانی شاخص WBGT با شاخص‌های استرین فیزیولوژیکی (مانند PSI و PSI_{HR}) بروز پدیده تنظیم شدت فعالیت توسط فرد برای کاهش شدت استرین گرمایی (Self-pacing) است که به‌عنوان یک رفتار حفاظتی در افراد در مواجهه با شرایط جوی خیلی گرم رخ می‌دهد [۲۸] و این حالت در نتایج مطالعات Mairiaux و Malchaire [۲۹] و Bate و Schneider [۳۰] درخصوص ارتباط بین استرین‌های فیزیولوژیک و تغییرات گرمای محیطی در امارات متحده عربی و استرالیا نشان داده شده است. هم‌چنین، Rastogi و همکاران در بررسی ارتباط بین دمای گوی‌سان و ضربان قلب در کارگران یک صنعت شیشه در هند به این نتیجه رسیدند که دمای گوی‌سان به‌تنهایی، استرین گرمایی را نمی‌تواند برآورد کند [۳۱] که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد. بروز پدیده حود تنظیمی میزان فعالیت توسط افراد در معرض در شرایط خیلی گرم عسلویه و ذوب آهن موجب شد که در این مطالعه، شاخص WBGT برآورد ضعیفی از دمای عمقی بدن ارائه نماید؛ به‌طوری که میزان همبستگی بین شاخص WBGT و دمای عمقی (شاخص معیار) ۰/۳٦ به‌دست آمد و در تحلیل رگرسیون فقط ٦٥ درصد افراد دارای استرین گرمایی(حساسیت) و ٥۳ درصد افراد فاقد استرین گرمایی (ویژگی) توسط شاخص WBGT درست طبقه‌بندی شدند. در شرایط آب و هوایی حاشیه خلیج فارس در فصول گرم، به‌دلیل بالا بودن میانگین دمای خشک و دمای تابشی به‌ترتیب برابر با ۳۷/٤±۳/۷ و ۳۸/۹±۳/۸ و در ذوب آهن به‌دلیل تابش‌های شدید از مواد مذاب و جداره‌های بسیار گرم، مکانیسم‌های دفع گرما از بدن از طریق تابش و جابه‌جایی کارآیی لازم را ندارند و تنها راه دفع گرما از بدن، تعریق و تبخیر عرق است. نقش اصلی را در این فرآیند، سیستم قلبی-عروقی بر عهده دارد که برای تامین آن، ضربان قلب افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که برخی از مطالعات نشان داده است که به ازای هر ۱ درجه افزایش دمای عمقی بدن، ضربان قلب بین ۱۵ تا ۳۰ ضربه در دقیقه افزایش می‌یابد [۱۷]. مطالعات مختلف رابطه بین ضربان قلب و دمای عمقی بدن را به‌طور وسیع مورد تایید قرار داده‌اند [۳۳،۳۲،۲۵،۲]. لازم به یادآوری است که در مواجهه با شرایط محیطی خنثی، میزان فعالیت محرک اصلی ضربان قلب می‌باشد و دفع گرما بیشتر از طریق مکانیسم‌های

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2025-08-24]

جابه‌جایی و تابش انجام می‌شود و مکانیسم خنک شدن تبخیری فعال نیست و لذا ضربان قلب کمتر تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد و بیشتر نمایان‌گر میزان متابولیسم بدن و تحت تاثیر عوامل غیر از شرایط محیطی است. ولی در مواجهه با دما و رطوبت بالا، بار گرمایی بدن افزایش می‌یابد و مکانیسم‌های هدایت و تابشی کارآیی لازم را برای دفع گرمای مازاد از بدن ندارند. لذا، در چنین شرایطی سیستم خنک شدن تبخیری بدن فعال می‌گردد که لازمه آن افزایش جریان خون محیطی و به‌دنبال آن افزایش ضربان قلب است. در مواجهه با شرایط محیطی گرم و مرطوب عسلویه یا گرم و خشک ذوب آهن با توجه به سطح فعالیت جسمانی کارگران، بخش مهمی از افزایش ضربان قلب مربوط به استرین گرمایی وارد شده به بدن است و این استرین گرمایی تحت تاثیر فاکتورهای محیطی و غیر محیطی قرار دارد. بدین ترتیب، وارد کردن مولفه ضربان قلب در برآورد استرین گرمایی معادل با وارد کردن مولفه‌های غیرمحیطی موثر در بروز استرین گرمایی است. به‌عبارت دیگر ورود توام شاخص WBGT و شاخص PSI_{HR} هم فاکتورهای محیطی و هم فاکتورهای غیرمحیطی موثر در بروز استرین گرمایی در برآورد استرین گرمایی به‌کار گرفته شدند؛ به‌طوری‌که حساسیت (نسبت پیش‌بینی درست افراد دارای استرین گرمایی) و ویژگی (نسبت پیش‌بینی درست افراد فاقد استرین گرمایی) شاخص WBGT در پیش‌بینی دمای عمقی بدن در کل افراد دو منطقه به‌ترتیب برابر با ٦٥ و ٥٣ درصد بود و با ورود شاخص PSI_{HR} به‌ترتیب به ٧٥ و ٦٩ درصدارتقا یافت. البته شاخص WBGT در شرایط خیلی گرم عسلویه و ذوب آهن ٤٧ درصد افرادی که در واقع فاقد استرین گرمایی بودند را در طبقه دارای استرین گرمایی پیش‌بینی نمود (ویژگی پایین) که احتمالا ناشی از بروز پدیده خود تنظیمی شدت فعالیت جسمانی (Self-pacing) افراد است، ولی با ورود ضربان قلب بهبود قابل ملاحظه‌ای در تشخیص درست افراد فاقد استرین گرمایی حاصل گردید (افزایش ویژگی)؛ چرا که بسیاری از افراد در شرایط محیطی خیلی گرم برای کاهش استرین گرمایی شدت فعالیت جسمانی خود را کاهش می‌دهند که نمود آن در ضربان قلب مشخص می‌شود و دخالت دادن آن، در برآورد استرین منجر به تشخیص درست‌تر افراد فاقد استرین گرمایی گردید. هم‌چنین، Moran و همکاران کاربرد توام شاخص استرین محیطی (Environmental Strain Index) و PSI_{HR} را برای برآورد استرین گرمایی پیشنهاد کردند [٣٤] که با ایده ما مطابقت دارد. هم‌چنین، نتیجه این مطالعه با تحلیل Malchire که گفته بود شاخص WBGT برای اهداف غربال‌گری مناسب نیست مطابقت دارد [٣٥]. از طرف دیگر همبستگی پایین شاخص WBGT با دمای عمقی در این مطالعه ($r=0/36$) تایید کننده این قضیه است. لذا، نتایج این مطالعه ایده کاربرد توام این دو شاخص را دربرآورد بهتر استرین گرمایی را مورد حمایت قرار می‌دهد. نقطه قوت کاربرد توام این دو شاخص این است که علاوه بر برآورد بهتر استرین گرمایی، اندازه‌گیری هر دو شاخص با امکانات موجود در کشورهای در حال توسعه و از جمله ایران امکان‌پذیر است و نقطه ضعف مطالعه این است که این پژوهش تحت شرایط آب و هوایی خیلی گرم- مرطوب و خیلی گرم- خشک انجام گردید و نتایج آن برای سایر شرایط آب و هوایی قابل تعمیم نیست. در نتیجه باتوجه به این‌که مطالعه حاضر اولین مطالعه کاربرد توام PSI_{HR} و WBGT در برآورد استرین گرمایی بود، لازم است جهت بررسی بیشتر کارآیی کاربرد توام دو شاخص، مطالعات وسیع‌تری در شرایط آب و هوایی دیگر و با مداخله دادن فاکتورهایی مانند تناسب جسمانی (physical fitness)، نوع لباس، وضعیت تطابق و وضعیت کم آبی بدن انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، کاربرد توام شاخص‌های PSI_{HR} و WBGT را به‌عنوان ابزاری مفید برای برآورد بهتر استرین گرمایی در شرایط آب و هوایی جنوب و مرکز ایران مورد حمایت قرار می‌دهد.

تشکر و قدردانی

این مقاله براساس داده‌های بخشی از پایان‌نامه دکتری تخصصی بهداشت حرفه‌ای مصوب دانشگاه تربیت مدرس و تحت حمایت شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران تهیه شده است. نویسندگان از همکاری صمیمانه آقایان مهندس اردلان سلیمانیان، (مسئول آزمایشگاه بهداشت حرفه‌ای دانشگاه تربیت مدرس)، دکتر مهدی جهانگیری و مهندس خواجی (مسئولین بهداشت حرفه‌ای صنایع پتروشیمی کشور و عسلویه)، دکتر مجید قناعی (پزشک طب کار)، و مهندس احمدی (مدیر HSE شرکت ذوب آهن اصفهان) تشکر و قدردانی می‌نمایند.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2025-08-24]

References:

[1] Nunneley SA. Heat stress in protective clothing. interactions among physical and physiological factors. ***Scand J Work Environ Health*** 1989; 15 suppl 1: 52-7.

[2] Havenith G. Individual heat stress response. Springer Verlag, 1997: 23-45.

[3] Morabito M, Cecchi L, Crisci A, Modesti PA, Orlandini S. Relation between work-related accident and hot weather condition in Tuscany (central Italy). ***Ind Health*** 2006; 44(3): 458-64.

[4] Kjellstrom T, lemke B. Loss of worker productivity due to projected climate change. IOP conf. Series: ***Earth and Environmental Science*** 2009; 6.

[5] Parsons K. Heat Stress Standard ISO 7243 and its global application. ***Ind Health*** 2006; 44(3): 368–79.

[6] Yaglou CP, Minard D. Control of heat casualties at military training centers. ***AMA Arch Ind Health*** 1957; 16(4): 302-16.

[7] HSE, Guidance, Topics, Temperature, Heat stress, Wet bulb globe temperature index. Available at: http://www.hse.gov.uk/temperature/information/heatstress/wetbulb.htm

[8] Holmér I. Climate change and occupational heat stress: methods for assessment**.** ***Glob Health Action*** 2010; 3. doi: 10.3402/gha.v3i0.5719.

[9] Jay O, Kenny GP. Heat exposure in the Canadian workplace. ***Am J Ind Med*** 2010; 53(8): 842-53.

[10] Bates GP, Schneider J. Hydration status and physiological workload of UAE construction workers: A prospective longitudinal observational study. ***J Occup Med Toxicol*** 2008; 3: 21.

[11] Brake DJ, Bates GP. Deep Body Core Temperatures in Industrial Workers under Thermal Stress**.** ***J Occup Environ Med*** 2002; 44(2): 125-35.

[12] Moran DS, Pandolf KB, Heled MY, Gonzalez R. Integration Between the Environmental Stress Index (ESI) and the Physiological Strain Index (PSI) as a Guideline for Training. Defense Technical Information Center Compilation Part Notice ADP012440.

[13] Moran DS, Shitzer A, Pandolf KB. A physiological strain index to evaluate heat stress. ***Am J Physiol*** 1998; 275(1 Pt 2): R129-34.

[14] Pandolf KB, Moran DS. Recent heat and cold strain predictive indices. ***Environmental Ergonomics*** 2005(3): 487-94.

[15] Moran DS, Pandolf KB, Shapiro Y, Loar A, Heled Y, Gonzalez RR. Evaluation of the environmental stress index for physiological variables. ***J Therm Biol*** 2003; 28: 43-9.

[16] Moran DS, Montain SJ, Pandolf KB. Evaluation of different levels of hypohydration using a new physiological strain index. ***Am J Physiol*** 1998; 275(44): 854-60.

[17] Moran DS, Shapiro Y, Laor A, lzraeli S, Pandolf KB. Can gender differences during exercise-heat stress be assessed by the physiological strain index? ***Am J Physiol*** 1999; 276(6 Pt 2): R1798-804.

[18] Moran DS, Shitzer A, Pandolf KB. A physiological strain index (PSI) to evaluate heat stress. ***Am J Physiol*** 1998; 275(1 Pt 2): R129-34.

[19] Yokota M, Berglund L, Cheuvront S, Santee W, Latzka W, Montain S, et al. Thermoregulatory model to predict physiological status from ambient environment and heart rate. ***Comput Biol Med*** 2008 38(11-12):1187-93.

[20] Gunga HC, Werner A, Stahn A, Steinach M, Schlabs T, Koralewski E, et al. The double sensor-A non-invasive device to continuously monitor core temperature in humans on earth and in space. ***Respir Physiol Neurobiol*** 2009; 169 Suppl 1: S63-8.

[21] Robinson J, Charlton J, Seal R, Spady D, Joffres MR. Oesophageal, rectal, axillary, tympanic and pulmonary artery temperatures during cardiac surgery. ***Can J Anaesth*** 1998; 45(4): 317-23.

[22] Nagano C, Tsutsui T, Monji K, Sogabe Y, Idota N, Horie S. Technique for continuously monitoring core body temperatures to prevent heat stress disorders in workers engaged in physical labor. ***J Occup Health*** 2010; 52(3): 167-75.

[23] Shibasaki M, Kondo N, Tominaga H, Aoki K, Hasegawa E, Idota Y, et al. Continuous measurement of tympanic temperature with a new infrared method using an optical fiber. ***J Appl Physiol*** 1998; 85(3): 921-6.

[24] Faulkner J, Eston RG. Perceived exertion research in the 21st century: developments, reflections and questions for the future. ***J Exerc Sci Fitness*** 2008; 6(1): 26-32.

[25] Motamedzade M, Azari MR. Heat stress evaluation using environmental and biological monitoring. ***Pak J Biol Sci*** 2006; 9(3): 457-9.

[26] Lumingu HM, Dessureault P. Physiological responses to heat strain: A study on personal monitoring for young workers. ***J Therm Biol*** 2009; 34: 299-305.

[27] ISO/7933, Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain. 2004: 18-9.

[28] Miller V, Bates G, Schneider JD, Thomsen J. Self-Pacing as a Protective Mechanism against the Effects of Heat Stress. ***Ann Occup Hyg*** 2011; 55(5): 548-55.

[29] Mairiaux P, Malchaire J. Workers self-pacing in hot conditions: a case study. ***Appl Ergon*** 1985; 16(2): 85-90.

[30] Bates GP, Schneider J. Hydration status and physiological workload of UAE construction workers: A prospective longitudinal observational study. ***J Occup Med Toxicol*** 2008 3: 21.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2025-08-24]

[31] Rastogi SK, Gupta BN, Husain T. Wet-bulb globe temperature index: a predictor of physiological strain in hot environments. ***Occup Med (Lond)*** 1992; 42(2): 93-7.
[32] Nigel Taylor AS, Amos D. Insulated Skin Temperature and Cardiac Frequency as Indices of Thermal Strain during Work in Hot Environments. Available at: http://dspace.dsto.defence.gov.au/dspace/bitstream/1947/9002/1/DSTO-TR-0590%20PR.pdf
[33] ISO 9886 Ergonomics. Evaluation of thermal strain by physiological measurements. International Standards Organisation, Geneva 2001: 4-5.
[34] Moran DS, Pandolf KB, Heled Y, Gonzalez RR. Combined environmental stress and physiological strain indices for physical training guidelines. ***J Basic Clin Physiol Pharmacol*** 2003; 14(1): 17-30.
[35] Malchaire J, Gebhardt HJ, Piette A. Strategy for evaluation and prevention of risk due to work in thermal environments. ***Ann Occup Hyg*** 1999; 43(5): 367-76.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2025-08-24]