

# Correlation between Wet Bulb Globe Temperature and Thermal Work Limit Compared to the Modified Threshold Limit of Tympanic Temperature

Hamidreza Heidari<sup>1</sup>, Hoda Rahimifard<sup>2</sup>, Shahram Arsang-Jang<sup>3</sup>, Robabeh Sahranavard<sup>2</sup>, Ahmad Soltanzadeh<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Occupational Hygiene Engineering, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

<sup>2</sup> Occupational Health Specialist, Environmental Pollution Center, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Epidemiology and Statistics, School of Public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

\* **Corresponding Author:** Ahmad Soltanzadeh, Department of Occupational Hygiene Engineering, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran. Email: [soltanzadeh.ahmad@gmail.com](mailto:soltanzadeh.ahmad@gmail.com)

---

## Abstract

**Received:** 12/09/2017  
**Accepted:** 29/01/2018

---

### How to Cite this Article:

Heidari H, Rahimifard H, Arsang-Jang Sh, Sahranavard R, Soltanzadeh A. Correlation between Wet Bulb Globe Temperature and Thermal Work Limit Compared to the Modified Threshold Limit of Tympanic Temperature. *J Occup Hyg Eng.* 2018; 4(4): 31-38. DOI: -----

**Background and Objective:** Appropriate indicators in the evaluation of heat stresses are of particular importance. Therefore, heat stress risk management requires the development of functional indicators. The purpose of this study was to evaluate the performance of the two indicators of WBGT and TWL and their fitness with the tympanic temperature.

**Materials and Methods:** A cross-sectional study of 101 urban service personnel was carried out in a hot and dry area in 2016. WBGT, TWL, airflow velocity, and tympanic temperature were measured using a digital WBGT-meter, TWL software, thermal anemometer, and a tympanic thermometer, respectively. Data were analyzed by using SPSS, version 22.

**Results:** The results of this study showed that the highest correlation was observed between the WBGT index and tympanic temperature ( $r=0.669$ ) and the lowest correlation coefficient was between the TWL index and tympanic temperature ( $r=0.343$ ). Considering thermal variations, the absolute magnitude of the correlation coefficient between the WBGT and TWL indicators was higher in comparison with the other indicators ( $r=0.660$ ), which increases by elevated air temperature, such that at temperatures above 35°C, the correlation coefficient of the two indices reached 0.996.

**Conclusion:** The findings of this study indicated that for the evaluation of the risk of heat stresses in open environments, the TWL index could be considered and applied as a suitable substitute for the WBGT index.

**Keywords:** Thermal Stress; Thermal Work Limit (TWL); Tympanic Temperature; Wetbulb Globe Temperature (WBGT)

---

## بررسی همبستگی دو شاخص استرسی حرارتی دمای تر گویسان (WBGT) و حد کار گرمایی (TWL) در مقایسه با حد مجاز اصلاح شده دمای پرده صماخ

حمیدرضا حیدری<sup>۱</sup>، هدی رحیمی فرد<sup>۲</sup>، شهرام ارسنگ جنگ<sup>۳</sup>، ربابه صحرانورد<sup>۲</sup>، احمد سلطانزاده<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز آلاینده‌های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران  
<sup>۲</sup> پژوهشگر و متخصص بهداشت حرفه‌ای، مرکز آلاینده‌های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

\* نویسنده مسئول: احمد سلطانزاده، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز آلاینده‌های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.  
 ایمیل: soltanzadeh.ahmad@gmail.com

### چکیده

**سابقه و هدف:** شاخص‌های مناسب در ارزیابی استرس‌های حرارتی دارای اهمیت خاصی هستند؛ بنابراین مدیریت ریسک استرس‌های حرارتی نیازمند توسعه شاخص‌های کاربردی می‌باشد. در این راستا، این مطالعه با هدف ارزیابی عملکرد و کارایی دو شاخص WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) و TWL (Thermal Work Limit) و تناسب آن‌ها با دمای تیمپانیک با تأکید بر حدود مجاز اصلاح شده آن انجام شده است.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه مقطعی - تحلیلی در ارتباط با ۱۰۱ نفر از پرسنل خدمات شهری در یک منطقه گرم و خشک در سال ۱۳۹۵ انجام شد. سنجش شاخص‌های مطالعه شامل: TWL، WBGT، سرعت جریان هوا و دمای تیمپانیک به ترتیب با استفاده از دستگاه WBGT سنج دیجیتال، نرم‌افزار TWL، آنومتر حرارتی و دماسنج سنجش دمای پرده صماخ انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌های مطالعه نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 22 صورت گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج مرتبط با ارزیابی همبستگی بین پارامترهای مختلف در این مطالعه نشان داد که بیشترین همبستگی بین دو شاخص WBGT و دمای تیمپانیک ( $r=0/669$ ) و کمترین ضریب همبستگی بین دو شاخص TWL و دمای تیمپانیک ( $r=0/343$ ) وجود دارد. همچنین با توجه به تغییرات دمایی، قدر مطلق ضریب همبستگی دو شاخص WBGT و TWL در مقایسه با سایر شاخص‌ها بیشتر ارزیابی گردید ( $r=0/660$ ). مقدار این همبستگی با افزایش دمای هوا نیز بیشتر گزارش شد؛ به طوری که در دماهای بیشتر از ۳۵ درجه سلسیوس ضریب همبستگی دو شاخص به ۰/۹۹۶ رسید.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌های این مطالعه بیانگر آن بود که شاخص TWL می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای شاخص WBGT به‌منظور ارزیابی ریسک استرس‌های حرارتی در محیط‌های باز مورد توجه و استفاده قرار گیرد.

**واژگان کلیدی:** استرس حرارتی؛ حد کار گرمایی (TWL)؛ دمای تیمپانیک؛ شاخص استرس حرارتی دمای تر گویسان (WBGT)

### مقدمه

۱۹۰۵ تا ۲۰۱۵ تعداد ۱۶۵ شاخص حرارتی توسط پژوهشگران ارائه شده‌اند که برخی از آن‌ها استرس‌های حرارتی و برخی دیگر استرس‌های حرارتی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند [۴].

این شاخص‌ها که براساس شرایط محیطی، تبادلات حرارتی بین انسان و محیط، پاسخ‌های فیزیولوژیکی و یا پاسخ‌های ذهنی افراد توسعه یافته‌اند، هر یک دارای نقاط قوت و ضعف متعددی می‌باشند؛ به‌عنوان مثال پارامترهایی همچون محیط و شرایطی

استرس‌های حرارتی محیطی به‌ویژه در فصول گرم سال به‌عنوان یک نگرانی جدی افراد بسیاری را در گروه‌های مختلف سنی تهدید می‌کند و آن‌ها را در معرض بیماری‌های مختلفی با عوارض ساده همچون راش‌های پوستی و خستگی‌های گرمایی تا فوریت‌های پزشکی همچون کرامپ‌های گرمایی و گرم‌زدگی قرار می‌دهند [۱-۳]. به‌منظور مدیریت ریسک در محیط‌های حرارتی، شاخص‌های بسیاری ارائه شده‌اند؛ به طوری که بین سال‌های

عواملی چون شرایط اندازه‌گیری صحیح و استفاده از لوازم حفاظتی همچون کلاه و گوشی توسط آزمودنی و واکس در گوش می‌تواند باعث بروز خطا در اندازه‌گیری شود [۱۴]. یکی دیگر از مشکلات استفاده از دمای تیمپانیک به‌عنوان جایگزین دمای رکتال، فقدان حدود مجاز اختصاصی برای این پارامتر فیزیولوژیک است. براساس استانداردهای موجود، حد مجاز دمای رکتال ۳۸ درجه سلسیوس است و چنانچه دمای عمقی بدن از این حد فراتر رود، فرد را در معرض آسیب‌ها و عوارض ناشی از گرما قرار می‌دهد. در مورد دمای دهانی (زیرزبانی) این مقدار ۰/۵ درجه سلسیوس کمتر از دمای رکتال و برابر با ۳۷/۵ درجه سلسیوس پیشنهاد شده است [۱۱]؛ اما براساس بررسی متون انجام‌شده، در مورد دمای تیمپانیک تفاوتی با دمای رکتال در حدود مجاز ارائه‌شده مشاهده نمی‌گردد. این درحالی است که همان‌گونه که ذکر شد، سنجش دمای تیمپانیک می‌تواند تحت تأثیر شرایط محیطی قرار بگیرد؛ بنابراین انتظار می‌رود دمای تیمپانیک نسبت به دمای رکتال مقادیر کمتری داشته باشد [۱۵]. حیدری و همکاران در یک مطالعه جامع که در اقلیم‌های مختلف کشور انجام دادند، براساس منحنی‌های ROC (Receiver Operating Characteristic) مقدار مجاز دمای تیمپانیک را در ارزیابی‌های حرارتی و برای مشاغل روباز معادل ۳۷ درجه سلسیوس پیشنهاد نمودند و عنوان کردند چنانچه مقدار دمای تیمپانیک افراد در مشاغل روباز از این حد مجاز اصلاح‌شده فراتر رود، فرد در معرض استرین حرارتی قرار می‌گیرد که این یافته با سایر پارامترهای فیزیولوژیک مرتبط با گرما در مورد افراد در معرض، توافق مناسبی را نشان داد [۱۵]. استفاده از یک شاخص که در عین سادگی، نتایج دقیق و قابل اعتماد را ارائه نماید برای ارزیابی استرین‌های حرارتی بسیار کاربردی خواهد بود؛ بنابراین در این مطالعه عملکرد شاخص WBGT به‌عنوان یک شاخص استرین حرارتی استاندارد و معتبر پذیرفته‌شده [۱۶] و حد کار گرمایی (TWL) که امروزه کاربرد وسیعی به‌ویژه در محیط‌های روباز پیدا کرده است [۱۷] در مقایسه با دمای تیمپانیک به‌عنوان یک پاسخ فیزیولوژیک معتبر با تأکید بر حدود مجاز اصلاح‌شده در یک اقلیم گرم و خشک و در بین کارگران مشاغل روباز طراحی و اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه که از نوع مقطعی و تحلیلی می‌باشد در ارتباط با ۱۰۱ نفر از پرسنل خدمات شهری در یک منطقه گرم و خشک در سال ۱۳۹۵ انجام شد. شرایط ورود افراد به مطالعه شامل: داشتن سلامت جسمی، نداشتن علائم و بیماری‌هایی همچون تب، افزایش فشار خون، عفونت‌های گوش و یا انحراف در مجرای گوش، عدم استفاده از گوشی‌های حفاظتی و کلاه و حداقل سابقه یک سال فعالیت در شغل فعلی بود. شایان ذکر است که افراد با سابقه کمتر از یک سال، افراد بیمار و افراد

که شاخص‌ها در آن توسعه یافته‌اند، آزمایشگاهی، میدانی و یا مجازی بودن محیط توسعه شاخص‌ها، مشخصات فردی آزمایش‌شوندگان، سهولت اندازه‌گیری، پارامترهای مورد ارزیابی ادغام‌شده در یک شاخص، اعتبار و مقبولیت یک شاخص، دردسترس بودن تجهیزات مورد نیاز و غیره، همگی باعث ایجاد تفاوت در شاخص‌های موجود شده‌اند [۵].

در بین شاخص‌های ارائه‌شده، شاخص استرین گرمایی پیش‌بینی‌شده (PHS: Predicted Heat Strain) که با استاندارد ISO-7933 (۲۰۰۴) و شاخص دمای تر گویسان (WBGT) که با استاندارد ISO-7243 (۱۹۸۹) پذیرفته شده‌اند، شاخص‌های معتبر و پذیرفته‌شده‌ای برای ارزیابی استرین‌های گرمایی در سراسر جهان می‌باشند؛ اما پیچیدگی محاسباتی بیش از حد شاخص PHS، کاربردپذیری آن را با محدودیت مواجهه نموده است. از سوی دیگر، شاخص WBGT به دلیل نیازمندی به برآورد برخی از پارامترهای مؤثر در آن همچون متابولیسم و عایق حرارتی لباس، خطاهای احتمالی ناشی از برآورد آن‌ها در محیط‌های کاری مختلف و نیز غیرحساس بودن آن‌ها به تأثیر خنک‌کنندگی سرعت جریان هوا در میزان استرین‌های حرارتی با نقص‌هایی مواجه می‌باشد. این موارد اغلب باعث شده است که نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از شاخص WBGT عموماً محافظه‌کارانه‌تر باشند [۶،۷].

شاخص حد کار گرمایی (TWL) نیز یکی دیگر از شاخص‌های گرمایی می‌باشد که امروزه کاربرد وسیعی در محیط‌های روباز پیدا کرده است. این شاخص با استفاده از پنج پارامتر محیطی (شامل: دمای خشک، دمای تر، دمای گویسان، سرعت جریان هوا و فشار اتمسفریک) و تطبیق فاکتورهای لباس به سادگی می‌تواند حداکثر فعالیت قابل تحمل و ایمن توسط یک فرد را در شرایط محیطی مورد نظر پیش‌بینی کند [۸،۹].

از سوی دیگر، وجود همبستگی بین نتایج حاصل از ارزیابی توسط شاخص‌های استرین و پاسخ‌های فیزیولوژیکی مرتبط با گرما همواره مورد انتظار بوده و به‌عنوان نقطه قوت یک شاخص مطرح می‌باشد [۱۰]. نرخ تعریق و دمای عمقی به‌عنوان دو پاسخ فیزیولوژیکی مؤثر در ارزیابی استرین‌های حرارتی شناخته می‌شوند؛ اما به دلیل محدودیت‌ها و دشواری‌های موجود در سنجش این پارامترها به‌ویژه در محیط‌های شغلی، استفاده از آن‌ها محبوبیت چندانی نیافته و عملاً در بسیاری از موارد غیرممکن می‌باشد [۱۱].

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که دمای پرده صماخ یا تیمپانیک به‌عنوان جایگزین مناسبی برای دمای رکتال در شرایطی که امکان اندازه‌گیری دمای رکتال میسر نباشد پیشنهاد شده است [۱۴-۱۲]. این پارامتر که امکان سنجش آن به دو صورت تماسی و غیرتماسی توسط دستگاه‌های سنجش مربوطه میسر می‌باشد، به سادگی اندازه‌گیری شده و می‌تواند در شرایط محیطی و آزمایشگاهی مورد استفاده قرار بگیرد. در عین حال،

مشاهده تفاوت قابل ملاحظه در اندازه‌گیری‌ها، بیشترین مقدار به‌عنوان دمای گوش در زمان اندازه‌گیری ثبت می‌گردد.

### تجزیه و تحلیل داده‌های مطالعه

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از این مطالعه وارد نرم‌افزار SPSS 22 گردیدند و آزمون‌های آماری شامل: آزمون همبستگی Spearman برای تعیین ارتباط شاخص‌ها با یکدیگر و آزمون Cross tab به‌منظور تعیین پاسخ شاخص‌ها در مقایسه با یکدیگر و همچنین تعیین حساسیت و ویژگی شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. شایان ذکر است که سطح معناداری در این مطالعه معادل ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

### یافته‌ها

نتایج توصیفی مطالعه حاضر که در فصل تابستان و در ۳ بازه زمانی صبح، ظهر و عصر انجام شد نشان داد که پارامترهای محیطی، گستره‌های وسیعی را پوشش می‌دهند. همچنین مشاهده شد که در محیط‌های گرم و خشک مورد مطالعه، مقادیر رطوبت نسبی پایین و تغییرات آن در طول روز قابل ملاحظه نمی‌باشد؛ به‌طوری که مقادیر رطوبت ثبت‌شده در اغلب موارد کمتر از ۳۰ درصد اندازه‌گیری گردید. از سوی دیگر، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در داده‌های هم‌زمان اندازه‌گیری‌شده در دمای خشک و گویسان مشاهده شد (جدول ۱).

به‌منظور تعیین همبستگی شاخص‌های WBGT و TWL با یکدیگر و با دمای تیمپانیک، ضرایب همبستگی هر یک به‌صورت جداگانه بررسی گردید. نتایج این بررسی در نمودارهای ۱ (الف-ج) ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهند که بیشترین همبستگی بین دو شاخص WBGT و دمای تیمپانیک ( $P < 0/001$ )،  $r = 0/669$  و کمترین همبستگی بین دو شاخص TWL و دمای تیمپانیک ( $P < 0/001$ )،  $r = 0/343$  مشاهده می‌شود.

به‌منظور بررسی ضریب توافق شاخص‌های استرسی و استرینی (دمای تیمپانیک) مقایسه‌های دوگانه‌ای با استفاده از ضریب Kappa انجام شد. در این مقایسه‌ها که پاسخ شاخص‌ها در دو گستره نرمال و غیرنرمال با یکدیگر صورت گرفت، نشان داده شد که در هیچ‌یک از شرایط اندازه‌گیری، میزان دمای تیمپانیک بالاتر از حد مجاز اصلاحی نبوده است؛ بنابراین امکان تعیین ضریب توافق با این شاخص استرینی به دلیل فقدان وجود

سازش‌نیافته (افرادی که بیش از ۱۴ روز منتهی به زمان پژوهش به دلیل مسافرت، بیماری و یا غیره غیبت از کار داشتند و در شرایط دمایی خنک به سر می‌بردند) از مطالعه حذف شدند.

ابتدا شرکت‌کنندگان با اهداف پژوهش آشنا گردیدند و پس از اخذ رضایت شفاهی به‌صورت داوطلبانه وارد مطالعه گشتند و به آن‌ها اجازه داده شد که هر زمان بخواهند می‌توانند از ادامه کار انصراف دهند.

### اندازه‌گیری داده‌های مطالعه

در این مطالعه برای سنجش شاخص دمای تر گویسان (WBGT) از دستگاه WBGT سنج دیجیتال و پیشرفته مدل Microtherm Cassella ساخت کشور انگلستان استفاده گردید. پارامترهای محیطی مورد نیاز محاسبه این شاخص شامل: دمای خشک (ta)، دمای تر طبیعی (tnw) و دمای گویسان (tg) به‌صورت هم‌زمان توسط این دستگاه ارائه گشتند.

سرعت جریان هوا، رطوبت نسبی و فشار هوا نیز به‌ترتیب توسط آنومتر حرارتی Kimo ساخت کشور فرانسه و رطوبت‌سنج و فشارسنج دیجیتال مدل Lotron-PHB 318 ساخت کشور تایوان اندازه‌گیری گردیدند.

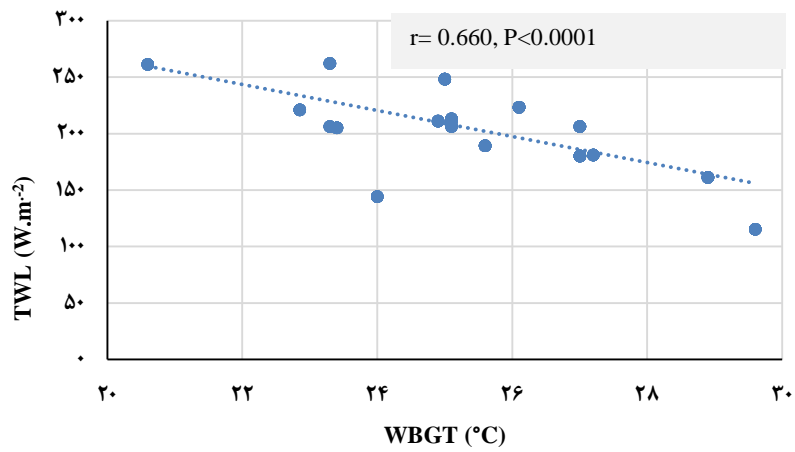
همان‌طور که ذکر شد، شاخص حد کار گرمایی (TWL) حداکثر متابولیسم قابل تحمل برای فرد سازش‌یافته و با وضعیت هیدراسیون مناسب را پیش‌بینی می‌کند. در این شاخص حدود مجاز معادل ۱۱۵ وات بر متر مربع تعیین شده است و مقادیر بالاتر از آن تا ۲۲۰ وات بر متر مربع، منطقه هشدار بوده و بالاتر از آن انجام کار بدون محدودیت امکان‌پذیر می‌باشد [۸]. لازم به ذکر است که در این مطالعه TWL با استفاده از نرم‌افزار مربوطه محاسبه گردید [۱۹، ۱۸].

به‌منظور بررسی تغییرات دمایی در همبستگی شاخص‌ها، اندازه‌گیری‌ها در سه زمان شامل: ساعت ۹ تا ۱۰، ۱۲ تا ۱۳ و ۱۵ تا ۱۶ تکرار گردید.

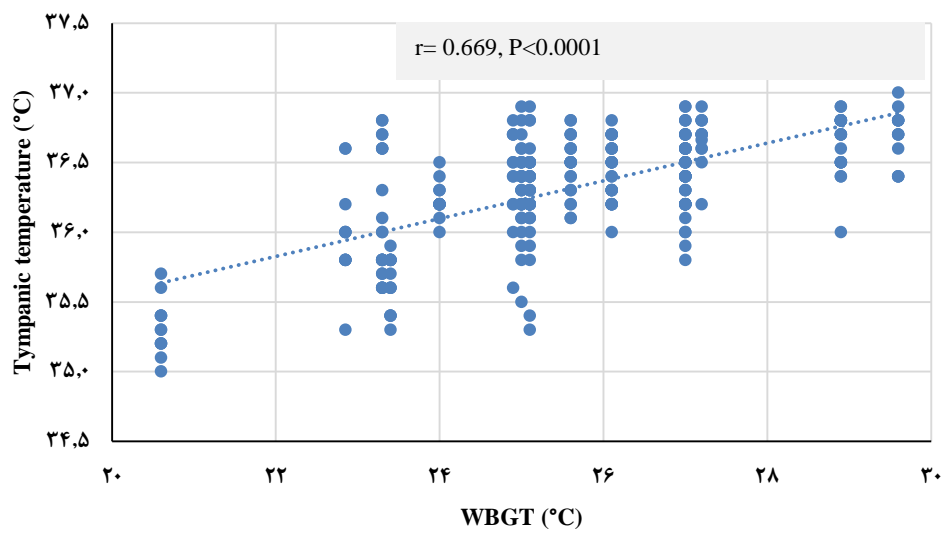
قابل ذکر است که هم‌زمان با اندازه‌گیری پارامترها و شاخص‌های حرارتی محیطی، اندازه‌گیری دمای تیمپانیک توسط دماسنج سنجش دمای پرده صماخ مدل Omron-510 ساخت کشور چین صورت گرفت. ذکر این نکته ضرورت دارد که کلیه اندازه‌گیری‌ها به‌طور قراردادی در گوش راست افراد انجام شد. در هر مورد اندازه‌گیری سه بار تکرار می‌گشت و در صورت عدم

جدول ۱: میانگین و انحراف استاندارد پارامترهای محیطی اندازه‌گیری‌شده در ساعات مختلف روز

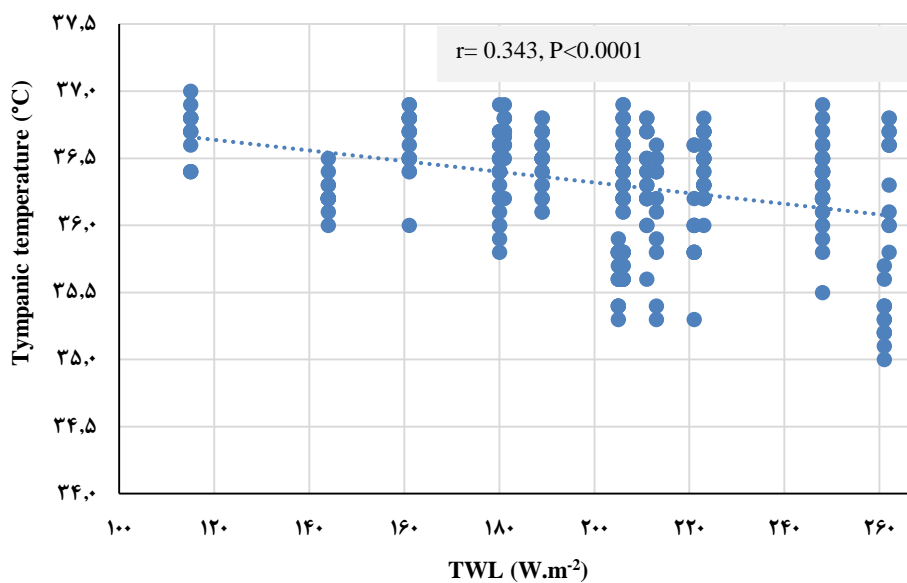
مقدار اندازه‌گیری‌شده (M±SD)			پارامتر محیطی (n=۳۰۳)
۹-۱۰ صبح	۱۲-۱۳ ظهر	۱۵-۱۶ عصر	
۲۹/۶۴±۲/۵۷	۳۲/۳۱±۱/۲۸	۳۶/۶۹±۲/۰۷	دمای هوا (سلسیوس)
۴۳/۱۸±۱/۶۶	۴۶/۰۱±۱/۹۵	۴۸/۶۵±۳/۷۴	دمای تابشی (سلسیوس)
۲۶/۵۳±۴/۲۵	۲۳/۳۵±۴/۹۳	۲۱/۹۸±۹/۱۶	رطوبت نسبی (درصد)
۱/۶۷±۱/۱۹	۱/۳۳±۰/۴۹	۲/۷۴±۲/۰۷	سرعت جریان هوا (متر بر ثانیه)



نمودار ۱-الف: نمودار همبستگی شاخص‌های استرس و استرین حرارتی (TWL-WBGT)



نمودار ۱-ب: نمودار همبستگی شاخص‌های استرس و استرین حرارتی (Tympanic Temperature-WBGT)



نمودار ۱-ج: نمودار همبستگی شاخص‌های استرس و استرین حرارتی (Tympanic Temperature-TWL)

و بیشتر از ۳۵ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در نمودار ۲ ارائه شده است. همان طور که نتایج این نمودار نشان می دهد، قدر مطلق ضریب همبستگی دو شاخص WBGT و TWL در مقایسه با سایر شاخص ها بیشتر ارزیابی شده و این همبستگی با افزایش دمای هوا بیشتر خواهد شد؛ به طوری که در دماهای بیشتر از ۳۵ درجه سلسیوس که معمولاً در ساعات میانی و پایانی شیفت کاری ثبت شده اند، ضریب همبستگی دو شاخص به ۰/۹۹۶ رسیده است. البته قابل ذکر می باشد که در مورد همبستگی شاخص های استرسی با دمای تیمپانیک شرایط به گونه ای دیگر بود؛ به طوری که ضریب همبستگی شاخص WBGT و دمای تیمپانیک با افزایش دمای هوا نزولی بود. قدر مطلق ضریب همبستگی شاخص TWL و دمای تیمپانیک نیز با افزایش دمای هوا کاهش یافته بود. شایان ذکر است که علامت منفی در ضرایب به دست آمده نشان دهنده رابطه معکوس دو شاخص می باشد و علت این رابطه معکوس آن است که بر خلاف دو شاخص WBGT و دمای تیمپانیک، مقادیر بالاتر شاخص TWL نشان دهنده شرایط ایمن تر می باشد.

داده در گستره غیرنرمال میسر نبود. نتایج بررسی ضریب توافق دو شاخص استرسی در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به اعتبار شاخص WBGT نسبت به TWL، شاخص WBGT به عنوان استاندارد طلایی (Gold Standard) برای تعیین حساسیت و ویژگی و شاخص TWL در برآورد استرس های حرارتی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این بررسی که در جدول ۳ آورده شده است نشان می دهد که شاخص TWL از حساسیت پایین و ویژگی بسیار بالایی برخوردار است. این یافته بدان معنی می باشد که در دماهای بالا که مقادیر شاخص ها بالاتر از حد مجاز هستند، دو شاخص WBGT و TWL از توافق بسیار بالایی در ارزیابی شرایط محیطی برخوردار می باشند. این در حالی است که در گستره های نرمال دمایی براساس حدود ارائه شده شاخص ها، شاخص TWL نسبت به WBGT شرایط محیطی را کمتر از واقع (Under Estimate) برآورد می کند. به منظور نشان دادن اثر تغییرات دمایی بر پاسخ شاخص های استرسی و استرینی در ارزیابی شرایط حرارتی محیط، ارتباط شاخص ها با یکدیگر در ۳ گستره دمایی کمتر از ۲۸، ۲۸ تا ۳۵

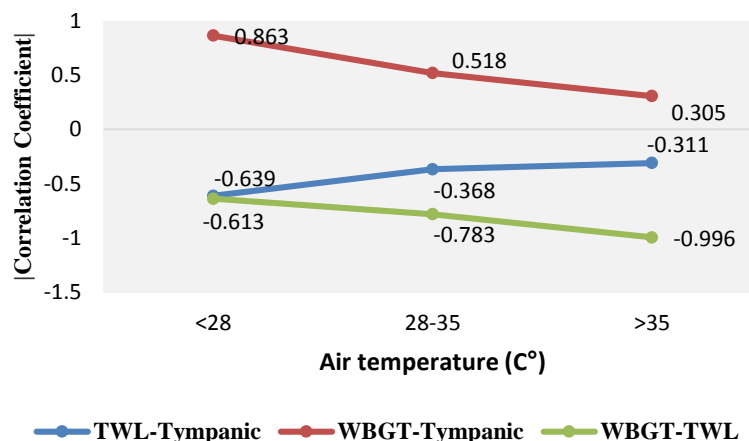
جدول ۲: بررسی ضریب توافق شاخص های WBGT و TWL

معناداری	Kappa value	کل	TWL		شاخص های حرارتی
			فراتر از حد مجاز	در حد مجاز*	
<0/001	0/51	۲۶۸	۰	۲۶۸	در حد مجاز†
		۳۵	۱۳	۲۲	فراتر از حد مجاز
		۳۰۳	۱۳	۲۹۰	کل

\*حد مجاز شاخص WBGT برای کار متوسط و عایق لباس کمتر از یک Clo برابر با ۲۸ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد.  
 †حد مجاز شاخص TWL برابر با ۱۱۵ وات بر متر مربع در نظر گرفته شد.

جدول ۳: حساسیت و ویژگی TWL در مقایسه با WBGT در تعیین استرس های حرارتی

فاصله اطمینان ۹۵ درصد			مقدار برآورد شده
حد بالا	حد پایین		
0/55	0/22		0/375 حساسیت
۱	0/97		0/998 ویژگی



نمودار ۲: مقایسه تغییرات همبستگی بین شاخص های مورد بررسی با افزایش دما

## بحث

محافظة کارانه‌تر ارزیابی می‌کند [۱۸]. Bate و Miller نیز در مطالعه خود دریافتند که شاخص TWL در مقایسه با WBGT در ارزیابی محیطی واقع‌بینانه‌تر بوده و از اعتبار بیشتری برخوردار است [۶]. براساس حساسیت و ویژگی به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر (جدول ۳) نیز مشخص گردید که شاخص TWL در مقایسه با WBGT شرایط را کمتر از واقع برآورد می‌کند؛ اگرچه ارتباط مناسبی بین دو شاخص مشاهده می‌شود و با افزایش دمای محیطی، این ارتباط افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که در دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سلسیوس، ضریب همبستگی به‌دست‌آمده بین دو شاخص معادل ۰/۹۹۶ بوده است.

از سوی دیگر، سرعت جریان باد که در محاسبه TWL تأثیرگذار است می‌تواند به‌عنوان یک پارامتر محیطی مؤثر در خنک‌کنندگی به‌ویژه در محیط‌های روباز ایفای نقش نماید. البته پارامتر سرعت جریان هوا به‌طور غیرمستقیم بر دمای تر تأثیرگذار می‌باشد؛ اما در محاسبه شاخص WBGT به‌طور مستقیم لحاظ نمی‌شود. در نتیجه در مطالعه حاضر که میانگین و انحراف معیار سرعت جریان هوای اندازه‌گیری‌شده برابر با  $1/51 \pm 1/91$  متر بر ثانیه می‌باشد، می‌تواند دلیلی بر تفاوت عملکرد دو شاخص در ارزیابی تنش‌های حرارتی باشد. این یافته همخوانی مناسبی با نتایج سایر مطالعات دارد [۶، ۱۸، ۱۹].

در نهایت باید خاطر نشان ساخت که خطاهای احتمالی در سنجش دمای عمقی پرده صماخ از جمله تفاوت روش اندازه‌گیری (توسط سنسورهای تماسی یا غیرتماسی) و نیز عدم سنجش سایر پارامترهای فیزیولوژیک همچون ضربان قلب به دلیل وابستگی آن به سایر پارامترها غیر از عامل گرما (مانند میزان و شدت فعالیت) از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌باشد که نیاز است در مطالعات آتی در شرایط کنترل‌شده‌ای مورد توجه پژوهشگران این حوزه قرار گیرد.

## نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه بیانگر آن بود که در محیط‌های روباز به دلیل ویژگی‌های متفاوت آن با محیط‌های سرپوشیده از جمله جریان داشتن محسوس هوا، شاخص TWL نه تنها می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسبی برای شاخص WBGT قلمداد شود؛ بلکه به دلیل لحاظ نمودن سرعت جریان هوا و از سوی دیگر بی‌نیازی به برآورد پارامترهای فردی همچون لباس و متابولیسم که هر یک می‌توانند خطای قابل ملاحظه‌ای را در اندازه‌گیری و برآورد واقعی شرایط محیطی ایجاد نمایند، TWL می‌تواند به‌عنوان شاخص توصیه‌شده در چنین محیط‌هایی مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود، همبستگی نه‌چندان مناسب بین شاخص‌های استرسی با دمای تیمپانیک می‌تواند به مکانیسم‌های دفاعی بدن در کنترل حرارت و خطاهای اندازه‌گیری دمای تیمپانیک مربوط باشد که در این زمینه به

نتایج این مطالعه نشان داد که همبستگی دو شاخص WBGT و TWL و نیز دو شاخص WBGT و دمای تیمپانیک در ارزیابی استرس‌های حرارتی محیطی تقریباً یکسان و در حد متوسط است ( $r=0/66, P<0/001$ ). علاوه بر این، ضرایب همبستگی دو شاخص استرسی (WBGT و TWL) با افزایش دما ارتقا یافته و نشان می‌دهد که در دماهای بالاتر، پاسخ شاخص‌ها در ارزیابی استرس‌های حرارتی محیط کار به یکدیگر نزدیک‌تر است. در مقابل ضریب همبستگی هر یک از شاخص‌های استرس حرارتی (TWL یا WBGT) با پاسخ فیزیولوژیکی و یا شاخص استرینی دمای تیمپانیک با افزایش دما رابطه معکوس دارد؛ به عبارت دیگر با افزایش دمای محیط، تغییر چندانی در دمای عمقی بدن ایجاد نمی‌گردد. این مسأله به مرکز تنظیم حرارت بدن مرتبط می‌شود که در آن غده هیپوتالاموس، کنترل دمای عمقی بدن را در مقدار ثابت  $37 \pm 0/5$  درجه سلسیوس بر عهده دارد [۲۰]. به این ترتیب، افزایش دمای محیطی باعث فعال شدن غده هیپوتالاموس خلفی و در نتیجه فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی بدن برای کاهش تولید حرارت و افزایش دفع حرارت از بدن همچون کاهش متابولیسم و افزایش تعریق می‌شود. در این شرایط، کاهش همبستگی بین دو شاخص استرسی با پاسخ فیزیولوژیک بدن طبیعی به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، خشک بودن محیط مورد مطالعه و در نتیجه اشباع نبودن هوا از رطوبت باعث می‌شود که مکانیسم تعریق که به‌عنوان یک مکانیسم کنترلی در مقابله با افزایش دمای عمقی بدن شناخته می‌شود، به شکل مؤثری به کار گرفته شود و باعث افزایش کارایی تعریق گردد [۲۱]. این امر به نوبه خود موجب حفظ دمای عمقی بدن در گستره نرمال و کاهش همبستگی آن با شاخص‌های استرسی در دماهای بالا می‌شود؛ از این رو، انتظار می‌رود که ضرایب به‌دست‌آمده در این پژوهش با ضرایب حاصل از انجام مطالعه در محیط‌های مرطوب متفاوت باشد؛ زیرا در چنین محیط‌هایی به دلیل کاهش کارایی تعریق، انتظار می‌رود که کنترل دمای عمقی بدن مختل شود و با افزایش دمای محیط، افزایش متناظرتری در دمای عمقی بدن مشاهده گردد.

نگهبان و همکاران در بررسی ارتباط تنش گرمایی با پاسخ‌های فیزیولوژیکی دریافتند که از بین پاسخ‌های فیزیولوژیکی مورد بررسی به‌ترتیب دمای تیمپانیک و دمای زیرزبانی دارای بیشترین ( $R^2=0/78, P<0/01$ ) و کمترین ( $R^2=0/07, P<0/01$ ) همبستگی با تنش‌های حرارتی هستند [۲۲]. در پژوهش حاضر نیز همان‌گونه که نمودارهای ۱ نشان می‌دهند، نتیجه مشابهی حاصل گردید. از سوی دیگر، فرخنده و قاسمخانی در مطالعه خود در محیط‌های روباز نشان دادند که نتایج به‌دست‌آمده از شاخص TWL در مقایسه با WBGT تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد و شاخص WBGT شرایط را

آلاینده‌های محیطی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی قم می‌باشد. بدین‌وسیله از حمایت‌های مادی و معنوی صورت‌گرفته توسط این مرجع کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

## تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی به شماره ۹۵۷۹۴ و با کد اخلاق ۱۳۹۶/۳ Ir.muq.rec. مصوب مرکز تحقیقات

## REFERENCES

- Murakami S, Miyatake N, Sakano N. Changes in air temperature and its relation to ambulance transports due to heat stroke in all 47 prefectures of Japan. *J Prev Med Public Health*. 2012;**45**(5):309. PMID: 23091656 DOI: 10.3961/jpmph.2012.45.5.309
- Nakamura S, Aruga T. Epidemiology of heat illness. *Mortality*. 2013;**1**:500.
- Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Forushani AR, Gaeini A. Outdoor occupational environments and heat stress in IRAN. *J Environ Health Sci Eng*. 2015;**13**(1):48. PMID: 26085933 DOI: 10.1186/s40201-015-0199-6
- de Freitas CR, Grigorieva EA. A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. *Int J Biometeorol*. 2017;**61**(3):487-512. PMID: 27568190 DOI: 10.1007/s00484-016-1228-6
- Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Rahimi Forushani A, Gaeini A. Determination of air enthalpy based on meteorological data as an indicator for heat stress assessment in occupational outdoor environments, a field study in Iran. *J Res Health Sci*. 2016;**16**(3):133-40. PMID: 27840341
- Bates G, Miller V. Empirical validation of a new heat stress index. *J Occup Health Saf Aust N Zealand*. 2002;**18**(2): 145-54.
- Taylor NA. Challenges to temperature regulation when working in hot environments. *Ind Health*. 2006;**44**(3):331-44. PMID: 16922177
- Brake DJ, Bates GP. Limiting metabolic rate (thermal work limit) as an index of thermal stress. *Appl Occup Environ Hyg*. 2002;**17**(3):176-86. PMID: 11871754 DOI: 10.1080/104732202753438261
- Brake R, Bates G. A valid method for comparing rational and empirical heat stress indices. *Ann Occup Hyg*. 2002;**46**(2):165-74. PMID: 12074026
- Epstein Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. *Ind Health*. 2006;**44**(3):388-98. PMID: 16922182
- International Organization for Standardization (ISO). Ergonomics—evaluation of thermal strain by physiological measurements. London: BSI; 2004.
- Çultu Ö, Yildirim I, Ceyhan M, Korkmaz A, Yurdakök M, Karaagaoglu E, et al. Comparing body temperature measurements by mothers and physicians using mercury-in-glass, digital mercury and infrared tympanic membrane thermometers in healthy newborn babies. *Turk J Pediatr*. 2008;**50**(4):354-8. PMID: 19014049
- Eyelade OR, Orimadegun AE, Akinyemi OA, Tongo OO, Akinyinka OO. Esophageal, tympanic, rectal, and skin temperatures in children undergoing surgery with general anesthesia. *J Perianesth Nurs*. 2011;**26**(3):151-9. PMID: 21641530 DOI: 10.1016/j.jopan.2011.03.009
- Lee JY, Nakao K, Takahashi N, Son SY, Bakri I, Tochihara Y. Validity of infrared tympanic temperature for the evaluation of heat strain while wearing impermeable protective clothing in hot environments. *Ind Health*. 2011;**49**(6):714-25. PMID: 22020015
- Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Rahimi Forushani A, Gaeini A. The cut-off point for tympanic temperature as a heat strain index for evaluation of outdoor workers: a field study. *Int J Occup Saf Ergon*. 2017;**24**(2):224-32. PMID: 28440104 DOI: 10.1080/10803548.2017.1281524
- International Organization for Standardization. International standard: hot environments: estimation of the heat stress on working man, Based on the WBGT-index (Wet Bulb Globe Temperature) ISO; 1989.
- Hoveizi F, Ghasemkhani M. Determination and comparison of TWL and WBGT thermal stress indices of an onshore drilling rig workers in Ahvaz. *Iran Occup Health*. 2015;**12**(4):1-10. [Persian]
- Chan AP, Yi W, Chan DW, Wong DP. Using the thermal work limit as an environmental determinant of heat stress for construction workers. *J Manag Eng*. 2012;**29**(4):414-23.
- Parsons K. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance. Florida: CRC Press; 2014.
- Dehghan H, Mortazavi SB, Jafari MJ, Maracy MR. Evaluation of wet bulb globe temperature index for estimation of heat strain in hot/humid conditions in the Persian Gulf. *J Res Med Sci*. 2012;**17**(12):1108-13. PMID: 23853626
- Negahban A, Aliabadi M, Mesdaraghi YB, Farhadian M, Jalali M, Kalantari B, et al. Investigating the association between heat stress and its psychological response to determine the optimal index of heat strain. *Muhand Bihdashht Hirfah*. 2014;**1**(1):8-15.
- Brake DJ. The deep body core temperatures, physical fatigue and fluid status of thermally stressed workers and the development of thermal work limit as an index of heat stress. [Doctoral Dissertation]. Australia: Curtin University; 2002.