



## تعیین و مقایسه شاخص‌های حرارتی TWL و WBGT در کارکنان یک دکل خشکی نفت-گاز در اهواز

فرخنده حویزی<sup>۱</sup>، مهدی قاسم خانی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۳۰

تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۷

### چکیده

**زمینه و هدف:** خطرات سلامتی افراد در شرایط استرس حرارتی به‌خوبی شناخته شده است و کارگران صنایع بسیاری با محیط‌های پراسترس حرارتی مواجهه دارند. حفاظت از سلامت آن‌ها به همراه بهره‌وری تولید مناسب، نیاز به کاربردی ساده از شاخصی معتبر دارد. طبق مطالعات اخیر، پیش‌بینی دقیق‌تر میزان استرس حرارتی به‌وسیله شاخص TWL نسبت به WBGT آشکار شده است. لذا این تحقیق با هدف مقایسه ارزیابی سطح استرس حرارتی در دو محیط سرپوشیده و روباز به‌وسیله دو شاخص مذکور و همچنین بررسی همبستگی بین مقادیر آن‌ها، به‌منظور تعیین شاخص بهینه صورت گرفت.

**روش بررسی:** این مطالعه در مرداد ماه سال ۱۳۹۳ بر روی کارکنان یک دکل خشکی شرکت ملی حفاری ایران به‌عنوان گروه روباز (۲۰ نفر) و کارکنان اداری شرکت مذکور به‌عنوان گروه سرپوشیده (۳۱ نفر) واقع در اهواز انجام شد. ارزیابی استرس حرارتی محیط با استفاده از دو شاخص WBGT و شاخص جدید TWL در سه نوبت صبح، ظهر و عصر، در طی سه روز متوالی صورت گرفت. داده‌های گرد آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

**یافته‌ها:** در گروه سرپوشیده مقادیر اندازه‌گیری شده ی هر دو شاخص، عدم استرس حرارتی را نشان دادند ولی در گروه روباز، شاخص TWL به‌طور قابل توجهی، میزان استرس حرارتی متفاوتی نسبت به شاخص WBGT نشان داد، درحالی‌که ارتباط معنی‌داری بین شاخص‌ها در هر سه نوبت اندازه‌گیری، در دو محیط کاری حاصل شد. ( $p < 0/05$ ).

**نتیجه‌گیری:** با وجود اینکه مقادیر شاخص WBGT اندازه‌گیری شده از حد مجاز تجاوز کرده بود، اما در طول مطالعه گزارشی از عوارض و علائم ناشی از گرما در بین افراد گروه روباز از طرف افسر بخش ایمنی، بهداشت و محیط زیست مشاهده نگردید. لذا کاربرد شاخص WBGT در این شرایط بسیار محافظ کارانه بود، درحالی‌که شاخص TWL برآورد منطقی‌تری از سطح استرس حرارتی نشان داد.

**کلیدواژه‌ها:** استرس حرارتی، شاخص حد کار حرارتی (TWL)، شاخص WBGT، دکل حفاری.

### مقدمه

گردید که کنترل گرما در محیط کار سبب کاهش ۴۰٪ در میزان خطاهای حین کار شده و در مقایسه با میزان کل بهره‌وری سازمان، باعث افزایش ۱/۷٪ بهره‌وری تولید شده است [۱]. برای مدیریت کردن چنین مشکلاتی، از سال ۱۹۲۳ تاکنون بیش از ۶۰ شاخص استرس حرارتی تدوین یافته‌اند [۲] که به دو دسته عمده شاخص‌های تحلیلی (در برآورد آن‌ها، تبدلات حرارتی بدن با محیط اطراف مورد تحلیل قرار نگرفته است) و شاخص‌های تحلیلی (بر اساس اصول تبدلات حرارتی، تعادل حرارتی افراد و پاسخ انسان در محیط‌های گرم، سرد و خنثی پایه‌ریزی شده‌اند) تقسیم شده‌اند [۳]. بسیاری از آن‌ها کاستی‌های قابل توجهی در بعضی

گرما در محیط کار می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر متابولیسم، دمای بدن، ضربان قلب و فشارخون اثر گذاشته و باعث اختلال و بیماری‌های گرمایی از قبیل کرامپ عضلانی (Heat Cramps)، خستگی مفرط ناشی از گرما (Heat Exhaustion) و شوک گرمایی (Heat Stroke) (شدیدترین حالت اختلال گرمایی است که مکانیسم تنظیم حرارتی بدن انسان آسیب می‌بیند) گردد، همچنین سبب بالا رفتن میزان خطای کاری و بروز حوادث و کاهش کیفیت کار فرد می‌شود، بطوریکه طبق تحقیقات اخیر که درباره تأثیر گرما بر بهره‌وری تولید انجام شده است، مشخص

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. ghasemkh@sina.tums.ac.ir



شرایط دارند، از جمله شاخص تجربی پرکاربرد دمای تر گویسان (Wet Bulb Glob Temperature) (WBGT) می‌باشد که نسبتاً به سرعت باد، غیر حساس است [۴-۷] و اخیراً آلفانو و همکاران ضعف‌های دیگری از آن گزارش داده‌اند [۸]. در سال ۲۰۰۲، شاخص استرس حرارتی تحلیلی جدیدی با نام حد کار حرارتی (TWL<sup>۱</sup>) توسط بریک و بیتز که بیشینه میزان متابولیسم قابل تحمل را با استفاده از ۵ پارامتر مهم محیطی (دماهای خشک، تر، تابشی، سرعت جریان هوا و فشار بارومتریک محیط) و همچنین با در نظر گرفتن پارامترهای لباس، ارائه می‌دهد، بطوریکه افراد سازگار یافته و با وضعیت هیدراسیون مناسب می‌توانند در یک محیط گرمایی مشخصی فعالیت کنند، ضمن اینکه دمای عمقی مجاز ( $> 38^{\circ}\text{C}$ ) و میزان تعریق ایمن ( $> 1/2 \text{ kg/hr}$ ) آن‌ها حفظ شود، در استرالیا تدوین شد. قابل ذکر است که این شاخص برای علوم مهندسی و انسانی کاربرد دارد. اعمال پروتکل‌های ای شاخص نه تنها اجازه بالا رفتن استرس حرارتی و مانع کاهش بهره‌وری ناشی از گرما را نمی‌دهد، بلکه اثر استراتژی‌های مختلف از قبیل تأثیر برودت یا تهویه موضعی را به‌طور کمی ارزیابی می‌کند [۹]. شاخص TWL از سوی انجمن مهندسين شغلی استرالیا (AIOH<sup>۲</sup>)، استاندارد استرس حرارتی را به خود اختصاص داده است [۱۰]. در سال ۲۰۰۲، میلر و بیتز اثبات کردند که این شاخص کاربردی آسان و معتبر در ارزیابی شرایط سخت محیطی داشته، همچنین خطای کمتری نسبت به شاخص‌های فعلی نشان داده است و نیز قادر است میزان متابولیسم کاری را در یک شرایط محیطی مشخص، به‌طور دقیق پیش‌بینی کند. با استفاده از الگوریتم آن می‌توان راهنمایی‌ها و خط‌مشی کلی در تدوین برنامه رهیدراسیون به‌منظور جایگزینی مایعات از دست رفته بدن ارائه کرد. قابل ذکر است که در این مقاله از شاخص WBGT به‌عنوان شاخص ضعیف و

بسیار محافظه‌کارانه نام برده شده است [۱۱]. در مطالعه‌ای که توسط چان و همکاران در سال ۲۰۱۲ انجام گرفت، گفته شده است که WBGT نسبتاً به اثر خنک‌کنندگی جریان هوا غیر حساس است و چون برای ارزیابی نیاز به تخمین میزان متابولیسم دارد، کاربردش چندان عملی نیست، این محدودیت‌های مذکور سبب شده است تا WBGT، خود را بسیار محافظه‌کارانه نشان دهد. میزان عملکرد پیش‌بینی کننده شاخص TWL دقیق و معتبر است و به‌عنوان شاخص استرس حرارتی، دارای پتانسیلی برای ساده کردن مدیریت مؤثر استرس حرارتی می‌باشد بطوریکه اهداف کاربری آن سبب کاهش بیماری‌های مربوط به گرما در صنعت می‌شود [۱۲]. شهر اهواز مرکز استان خوزستان، یکی از کلان‌شهرهای ایران است که وجود کارخانجات بزرگ صنعتی، تأسیسات اداری و صنعتی شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب و شرکت ملی حفاری ایران (از لحاظ دامنه عملیاتی، بزرگ‌ترین شرکت فرعی شرکت ملی نفت ایران محسوب می‌شود) آن را به یکی از مهم‌ترین مراکز صنعتی ایران تبدیل کرده است بطوریکه ۵۱٪ نفت شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب کشور، در اهواز تولید می‌شود. قابل ذکر است که حفاری جزء صنایع بالادستی صنعت نفت (صرفاً با تولید نفت خام سروکار داشته و شامل اکتشاف نفت، بهره‌برداری از منابع نفت و مطالعات مخازن می‌باشد) محسوب می‌شود و کار طراحی، حفر و تکمیل چاه‌های نفت و گاز را بر عهده دارد. کمبود شدید پوشش گیاهی سبب گرمی و خشکی اهواز شده و آن را در رده گرم‌ترین مناطق ایران جای داده است بطوریکه دما در تابستان تا  $50^{\circ}\text{C}$  افزایش می‌یابد [۱۳]. از آنجائی که ارزیابی استرس حرارتی با شاخص استرس حرارتی TWL تاکنون در مناطق نفتی جنوب کشور و به‌ویژه در شهر اهواز انجام نشده است، لذا اولین بار برای ارزیابی گرما و مقایسه این شاخص جدید با شاخص استاندارد شده دمای تر گویسان در میان کارکنان یکی از دکل‌های شرکت ملی حفاری اهواز به‌صورت یک طرح پژوهشی به‌مورد اجرا در آمد.

1. Thermal Work Limit

2. Australian Institute of Occupational Hygienists



به منظور تعیین سطح استرس حرارتی، شرایط محیطی در سه نوبت صبح (در محیط خارجی ساعت ۸-۷ و در محیط داخلی ساعت ۸/۳۰-۷/۳۰)، ظهر (ساعت ۱۲/۳۰-۱۱/۳۰) و نوبت عصر (که در محیط خارجی ساعت ۶-۷ و در محیط داخلی ساعت ۳/۳۰-۲/۳۰) بر اساس حدود مجاز مواجهه شغلی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، مرکز سلامت محیط و کار در سال ۹۱، در نقاط اندازه گیری از قبل تعیین شده پایش شد [۱۷]. شاخص WBGT بر اساس استاندارد ISO7243 [۱۸] و نیز دماهای خشک، تر و تابشی با استفاده از دستگاه WBGT H.S.M.100 از شرکت Casella و سرعت جریان هوا با آنومتر پره ای مدل Airflow LCA6000 سنجیده شد. پس از تعیین پارامترهای ذکر شده و مشخص شدن فشار بارومتریک هوا با بهره گیری از داده های سایت هواشناسی بین المللی Wunderground [۱۹]، شاخص TWL محاسبه گردید. مقادیر به دست آمده شاخص WBGT با حدود مجاز مواجهه توصیه شده برای کار پیوسته بر اساس وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، معاونت بهداشت مرکز سلامت محیط و کار و همچنین سازمان ACGIH در سال ۲۰۱۳، [۱۷، ۲۰] و مقادیر شاخص TWL با حدود مجازی که تدوینگران این شاخص در دانشکده بهداشت استرالیا پیشنهاد دادند (جدول شماره ۱) مقایسه شدند [۹].

شاخص تحلیلی TWL بر اساس مطالعات تجربی بر روی معادلات تبادلات حرارتی انسان و انتقال گرما و رطوبت از طریق لباس به دست آمده است. معادلات محاسبه این شاخص به صورت زیر هستند [۹].

| جدول ۱- حدود مجاز شاخص TWL |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| TW (watts/m <sup>2</sup> ) | منطقه کاری               |
| > ۲۲۰                      | بدون محدودیت (منطقه سبز) |
| ۱۴۰-۲۲۰                    | سازگاری                  |
| ۱۴۰-۱۱۵                    | هشدار (منطقه زرد)        |
| ۱۱۵>                       | کناره گیری (منطقه قرمز)  |

## روش بررسی

این مطالعه توصیفی-تحلیلی و مقطعی به مدت سه روز در مردادماه سال ۱۳۹۳ و در گرم ترین ساعات کاری انجام گرفت. روش تعیین نمونه افراد تحت مطالعه به صورت سرشماری انجام گردید. کارکنان تحت مطالعه که همگی دارای جنسیت مرد بودند به دو گروه تقسیم شدند، افرادی که در یک محیط داخلی شرکت ملی حفاری ایران در شیفت ۸ ساعته و ۵ روز در هفته مشغول امور اداری بودند به عنوان گروه سرپوشیده که تحت استرس حرارتی نبودند و کارکنانی که در محیط روباز و بر روی دکل حفاری در شیفت ۱۲ ساعته و به صورت اقماری (۲ هفته کار-۲ هفته استراحت) مشغول فعالیت بودند به عنوان گروه روباز انتخاب شدند. به دلیل وظایف مهم عملیات حفاری، استراحت قابل توجهی در طول شیفت کاری گروه روباز وجود نداشت درحالیکه گروه سرپوشیده به مدت یک ساعت استراحت داشتند. قابل ذکر است که گروه روباز پس از اتمام شیفت روز کاری، در محل کمپ تهویه دار (به دلیل آلودگی هوا و صوتی تقریباً فاصله زیادی از مکان کاری (دکل حفاری) دارد) استراحت می کردند. همچنین پس از دو هفته کار، به محل زندگی شان به مدت دو هفته نیز باز می گشتند. گروه روباز تا حدی درباره مشکلات کار در گرما آگاه بودند و در طول مطالعه، گزارشی از عوارض مربوط به گرما در بین آنها دیده نشد و همه آنها مشغول انجام وظایف کاری روزانه خود بودند. به منظور اطمینان از ایجاد سازگاری کامل با گرما، این مطالعه یک هفته پس از بازگشت آنان به کار، انجام گرفت. برآورد متابولیسم کاری و میزان مقاومت حرارتی لباس ( $I_{cl}^3$ ) به ترتیب مطابق با استانداردهای ISO 8996 و ISO 9920 [۱۵]، [۱۴] و میزان نفوذ بخار ( $i_{cl}^4$ ) با استفاده از کتاب انجمن مهندسی تهویه، گرمایشی و سرمایشی آمریکا (ASHREA<sup>5</sup>) در سال ۲۰۰۹ صورت گرفت [۱۶].

<sup>1</sup> Intrinsic clothing thermal resistance

<sup>2</sup> Clothing vapor permeation efficiency

<sup>3</sup> American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers



$t_{\Sigma}$  سیگنال تنظیم حرارتی ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$t_{\Sigma} = 0.1 t_{\text{skin}} + 0.9 t_{\text{core}}$$

از طرفی

$$H = K_{\text{cs}} (t_{\text{core}} - t_{\text{skin}})$$

$H$  گرمای انتقالی از بافت عمقی بدن به پوست ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) و  $K_{\text{cs}}$  میزان هدایت فیزیولوژیکی ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ).

به منظور برقراری تعادل حرارتی در انسان باید:

(۱) شاره گرما از بافت عمقی به پوست با شاره گرما از پوست به محیط برابر باشد.

(۲) میزان متابولیسم تولید شده با گرمای انتقالی از بافت عمقی به پوست و گرمای انتقالی از طریق تبخیر مساوی باشد. در نتیجه شاخص حد کار حرارتی:

$$\text{TWL} = M = H + B$$

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ صورت گرفت. از ضریب همبستگی پیرسون برای ارتباط بین مقادیر شاخص‌های مورد مطالعه استفاده شد.

### یافته‌ها

مشخصات فردی افراد تحت مطالعه در جدول شماره ۲ آمده است. بر اساس ISO 7243، اختلافی در بین مقادیر شاخص WBGT در بخش‌های سر، کمر و قوزک پا در هر دو گروه دیده نشد. نتایج میانگین و انحراف معیار شاخص‌ها، متغیرهای محیطی مورد مطالعه و ضریب همبستگی بین شاخص‌ها در هر سه نوبت اندازه‌گیری در جدول شماره ۳ گردآوری شده است. قابل ذکر است که تمامی پارامترهای مذکور با کمک از آزمون شاپیرو (Shapiro-Wilk) دارای توزیع نرمال هستند ( $p\text{-value} > 0.05$ ). با توجه به این جدول بیشترین میانگین دمای خشک، تر، تابشی و همچنین هر دو شاخص WBGT و TWL، در گروه سرپوشیده مربوط به نوبت اول (صبح) و در گروه روباز مربوط به نوبت دوم (ظهر) می‌باشد. بین مقادیر شاخص‌های WBGT و TWL در هر نوبت اندازه‌گیری و در هر دو گروه، همبستگی بالایی وجود دارد ( $p\text{-value} < 0.05$ ) و با

$$M - W = C + R + E + B + S_{\text{sk}} + S_{\text{c}}$$

که  $M$  میزان متابولیسم،  $W$  میزان کار فیزیکی،  $E$  و  $R$ ،  $C$  به ترتیب انتقال حرارت از راه‌های جابجایی، تابشی و تبخیر،  $B$  انتقال حرارت از مجاری تنفسی از طرق جابجایی و تبخیر،  $S_{\text{sk}}$  میزان انباشتگی گرما در پوست و  $S_{\text{c}}$  میزان انباشتگی گرما در بافت عمقی بدن هستند و تمامی آن‌ها دارای واحد  $\text{W}/\text{m}^2$  می‌باشند.

$$B = 0.0014M(34 - t_a) + 0.0173M(5.87 - p_a)$$

$t_a$ : دمای خشک هوا ( $^{\circ}\text{C}$ ) و  $p_a$  فشار جزئی بخار آب در هوای محیط ( $\text{kPa}$ ).

$$R = h_r f_r (t_{\text{skin}} - t_{\text{rad}})$$

$h_r$ : ضریب انتقال حرارت از طریق تابش ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )،  $f_r$  فاکتور پوسچر (بی بعد)،  $t_{\text{skin}}$  و  $t_{\text{rad}}$  به ترتیب دمای پوست و میانگین دمای تابشی محیط در واحد  $^{\circ}\text{C}$ .

$$h_r = 4.61 (1 + (t_{\text{rad}} + t_{\text{skin}}) / 546)^3$$

$$C = h_c (t_{\text{skin}} - t_a)$$

$h_c$  ضریب انتقال حرارت از طریق جابجایی ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$$h_c = 0.608 P^{0.6} V^{0.6} \quad \text{W}/\text{m}^2/\text{K}$$

$P$  فشار بارومتريک هوا ( $\text{kPa}$ ) و  $V$  سرعت جریان هوا ( $\text{m}/\text{s}$ ).

برای محاسبه  $E$ ، زمانی که  $\lambda \text{Sr}/E_{\text{max}} < 0.46$  باشد:

$$E = \lambda \text{Sr}$$

زمانی که  $0.46 \leq \lambda \text{Sr} \leq \lambda \text{Sr}/E_{\text{max}} \leq 1.7$ :

$$E = \lambda \text{Sr} \exp[-0.4127 \times 1.8]$$

$$1.168]^{\lambda \text{Sr}/E_{\text{max}} - 0.46}$$

و برای  $\lambda \text{Sr}/E_{\text{max}} > 1.7$ :

$$E = E_{\text{max}}$$

$\text{Sr}$  میزان تعریق ( $\text{Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ) و  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر که در  $30^{\circ}\text{C}$  مقدار آن مساوی با  $2430 \text{ kJ}/\text{kg}^{-1}$ .

$$\text{Sr} = 0.42 + 0.44 \tanh[1.16 (t_{\Sigma} - 37.4)]$$



جدول ۲- مشخصات سن و سابقه کاری افراد تحت مطالعه

| متغیر            | سرپوشیده (n=۳۱)        | روباز (n=۲۰)          | جمع (n=۵۱)            |
|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| سن (سال)         | $\mu=41/77$ (SD 9/28)  | $\mu=37/5$ (SD 9/58)  | $\mu=39/64$ (SD 9/43) |
| $\geq 33$        | ۹ (۲۹/۰۰)              | ۹ (۴۵/۰۰)             | ۱۸ (۳۷/۰۰)            |
| $< 33$           | ۲۲ (۷۱/۰۰)             | ۱۱ (۵۵/۰۰)            | ۳۳ (۶۳/۰۰)            |
| سابقه کاری (سال) | $\mu=16/26$ (SD 10/11) | $\mu=11/25$ (SD 7/39) | $\mu=13/76$ (SD 6/41) |
| $\geq 10$        | ۱۳ (۴۱/۹۰)             | ۱۰ (۵۰/۰۰)            | ۲۳ (۴۶/۰۰)            |
| $< 10$           | ۱۸ (۵۸/۱۰)             | ۱۰ (۵۰/۰۰)            | ۲۸ (۵۴/۱۰)            |

جدول ۳- میانگین و انحراف معیار پارامترهای محیطی و شاخص های مورد بررسی در دو مکان کاری و ضریب همبستگی پیرسون بین WBGT و TWL در هر نوبت اندازه گیری در طی سه روز

| محیط/نوبت اندازه گیری | دمای خشک (°C) | دمای تر (°C) | دمای تابشی (°C) | سرعت حرکت هوا (m/s) | شاخص (WBGT)C° | شاخص TWL(w/m <sup>2</sup> ) | آزمون پیرسون <sup>۱</sup> |
|-----------------------|---------------|--------------|-----------------|---------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|
| گروه سرپوشیده         |               |              |                 |                     |               |                             |                           |
| نوبت صبح              | ۲۷/۴۶ ± ۰/۴۴  | ۱۷/۶۸ ± ۰/۳۷ | ۲۶/۶۲ ± ۲/۷۶    | ۰/۲۲ ± ۰/۰۲         | ۲۰/۸۱ ± ۰/۲۲  | ۲۲۷/۵۸ ± ۲/۷۳               | -.۰/۹۸**                  |
| نوبت ظهر              | ۲۴/۳۴ ± ۰/۵۵  | ۱۶/۱۲ ± ۰/۸۴ | ۲۴/۹۲ ± ۰/۴۵    | ۰/۲۱ ± ۰/۰۱         | ۱۸/۷۸ ± ۰/۱۷  | ۲۴۹/۳۹ ± ۱/۰۲               | -.۱**                     |
| نوبت عصر              | ۲۳/۹۵ ± ۰/۳۲  | ۱۵/۵۵ ± ۰/۴۱ | ۲۴/۸۵ ± ۰/۳۰    | ۰/۲۱ ± ۰/۰۲         | ۱۸/۰۱ ± ۰/۱۳  | ۲۵۴/۲۶ ± ۱/۱۲               | -.۰/۹۸*                   |
| گروه روباز            |               |              |                 |                     |               |                             |                           |
| نوبت صبح              | ۳۱/۲۰ ± ۰/۱۱  | ۲۰/۶۸ ± ۰/۱۲ | ۳۲/۱۳ ± ۰/۲۶    | ۱/۳۰ ± ۰/۷۰         | ۲۴/۱۱ ± ۰/۲۳  | ۲۵۴/۷۰ ± ۲/۴۳               | -.۰/۹۳**                  |
| نوبت ظهر              | ۴۵/۴۲ ± ۰/۱۷  | ۲۲/۶۵ ± ۰/۳۰ | ۵۰/۶۸ ± ۱/۲۴    | ۱/۵۰ ± ۰/۵۰         | ۳۰/۶ ± ۰/۲۴   | ۱۵۶/۷۰ ± ۴/۱۲               | -.۰/۹۹**                  |
| نوبت عصر              | ۴۶/۴۳ ± ۰/۳۳  | ۲۲/۳۸ ± ۰/۳۴ | ۳۸/۴۴ ± ۰/۴۴    | ۲/۰۰ ± ۰/۲۰         | ۲۹/۱۹ ± ۰/۲۱  | ۲۱۳/۷۰ ± ۳/۵۴               | -.۰/۹۷**                  |

\*\*همبستگی در سطح معنی داری ۰/۰۱، \*همبستگی در سطح معنی داری ۰/۰۵، <sup>۱</sup>ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص WBGT و TWL در هر نوبت اندازه گیری (p < ۰/۰۵) value و فشار بارومتریک ۱۰۱ کیلو پاسکال

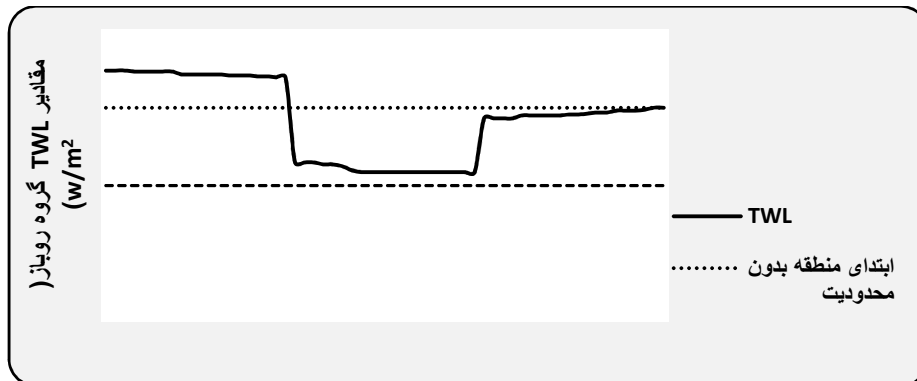
نشانه منفی علامت گذاری شده است. نشانه منفی موجود در ضریب همبستگی نمایانگر رابطه معکوس بین مقادیر است. در طول مطالعه بر اساس طبقه بندی بار کاری سازمان وزارت بهداشت، گروه سرپوشیده دارای بار کاری سبک ( $< 20 \text{ kcal/hr}$ ) و گروه روباز دارای بار کاری سنگین ( $350-500 \text{ kcal/hr}$ ) در نوبت صبح و بار کاری متوسط ( $200-350 \text{ kcal/hr}$ ) در نوبت های ظهر و عصر بودند [۱۷].

به منظور مقایسه ارزیابی دقیق تر بین دو شاخص با هدف اینکه مقادیر هر یک از شاخص ها در هر نوبت اندازه گیری در دامنه کدام منطقه مجاز قرار می گیرند، تمامی مقادیر حاصل شده از شاخص های TWL و WBGT در طی سه نوبت اندازه گیری به ترتیب در شکل های ۱ و ۲ آورده شده است. قابل ذکر است که

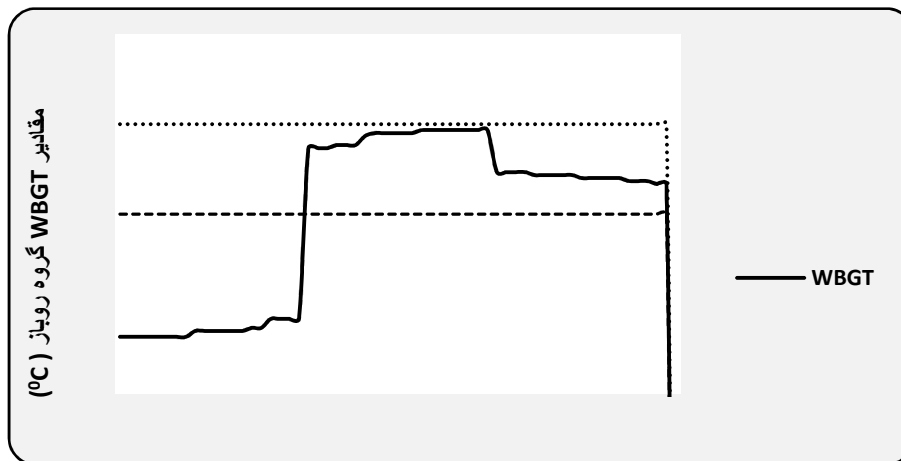
مقادیر هر دو شاخص در گروه سرپوشیده بیانگر عدم استرس حرارتی بود؛ زیرا تمامی مقادیر به دست آمده از شاخص TWL در طول شیفت کاری با توجه به جدول شماره ۱ در دامنه منطقه سبز ( $> 220 \text{ w/m}^2$ ) و شاخص WBGT بسیار کمتر از  $31 \text{ C}^\circ$  (حد مجاز کار سبک در  $100-75\%$  کار) می باشد [۱۷، ۲۰]؛ اما مقادیر به دست آمده از دو شاخص مورد مطالعه در طی شیفت گروه روباز، در مناطق مختلفی از حدود مجاز قرار می گرفتند، لذا در این مطالعه نمودارهای مقایسه ای (شکل های ۲ و ۱) که تنها مربوط به گروه روباز است مورد بررسی و نمایش قرار گرفته اند. با توجه به یافته های شاخص TWL در گروه روباز، میزان استرس حرارتی از نوبت صبح به ظهر، روند افزایشی زیاد و از نوبت ظهر به عصر روندی کاهشی ملایمی دارد، بطوریکه با استفاده از

مقادیر هر دو شاخص در گروه روباز، در مناطق مختلفی از حدود مجاز قرار می گرفتند، لذا در این مطالعه نمودارهای مقایسه ای (شکل های ۲ و ۱) که تنها مربوط به گروه روباز است مورد بررسی و نمایش قرار گرفته اند. با توجه به یافته های شاخص TWL در گروه روباز، میزان استرس حرارتی از نوبت صبح به ظهر، روند افزایشی زیاد و از نوبت ظهر به عصر روندی کاهشی ملایمی دارد، بطوریکه با استفاده از

مقادیر هر دو شاخص در گروه روباز، در مناطق مختلفی از حدود مجاز قرار می گرفتند، لذا در این مطالعه نمودارهای مقایسه ای (شکل های ۲ و ۱) که تنها مربوط به گروه روباز است مورد بررسی و نمایش قرار گرفته اند. با توجه به یافته های شاخص TWL در گروه روباز، میزان استرس حرارتی از نوبت صبح به ظهر، روند افزایشی زیاد و از نوبت ظهر به عصر روندی کاهشی ملایمی دارد، بطوریکه با استفاده از



شکل ۱- مقایسه مقادیر شاخص TWL گروه روباز در طی سه نوبت اندازه گیری با حدود مجاز مواجهه



شکل ۲- مقایسه مقادیر شاخص WBGT گروه روباز در طی سه نوبت اندازه گیری با حدود مجاز مواجهه

جدول شماره ۳، میانگین مقادیر در طی سه روز مطالعه در نوبت صبح، ۲۵۴/۷۰، نوبت ظهر، ۱۵۶/۷۰ و نوبت عصر، ۲۱۳/۷  $w/m^2$  به دست آمد که با توجه به حدود مجاز شاخص TWL که در جدول شماره ۱ تعریف شده است، این مقادیر ذکر شده به ترتیب در دامنه منطقه سبز، منطقه سازگاری و منطقه بسیار نزدیک به منطقه سبز قرار می‌گیرند. جالب است بدانیم که در طول مطالعه، هیچ‌یک از مقادیر به دست آمده در دامنه منطقه هشدار (منطقه زرد،  $TWL < 140 w/m^2$ ) قرار نگرفت (شکل ۱).

مجاز کار متوسط پیوسته) تجاوز کرد، بخشی از این مقادیر (اواخر نوبت ظهر) در حاشیه حد  $31^\circ C$  (حد مجاز کار سبک پیوسته) بودند [۱۷، ۲۰]. این نکته قابل ذکر است که سازمان ACGIH و وزارت بهداشت حد قابل قبولی برای کار سنگین و خیلی سنگین پیوسته ( $100-75\%$  کار) قائل نشده است [۱۷، ۲۰]. به همین علت این حدود در شکل شماره ۲ لحاظ نشده است.

### بحث و نتیجه گیری

در گروه روباز با توجه به یافته‌ها، شاخص‌های استرس حرارتی WBGT و TWL در نوبت صبح عدم استرس حرارتی، در نوبت ظهر به دلیل افزایش دماهای خشک و تابشی محیط کار، افزایش سطح استرس حرارتی و در

در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود که با استفاده از شاخص استرس حرارتی WBGT، ۶۶٪ کل نقاط اندازه‌گیری شده (نوبت‌های ظهر و عصر)، از  $28^\circ C$  (حد



بین مقادیر شاخص های مورد مطالعه یافت شده که این یافته با مطالعه اخیر فرشاد و همکاران همخوانی دارد [۲۴] و بیانگر آن است که اثر افزایش یا کاهش سطح گرمای محیط به خوبی در هر دو شاخص مشابه است (به علت متفاوت بودن واحد اندازه گیری این دو شاخص، تغییرات آن ها کاملاً در جهت عکس یکدیگر است)، اما شاخص WBGT به علت برآورد بسیار محافظه کارانه از شرایط محیط کار، ارزیابی مناسبی از استرس حرارتی نداشته و در این مطالعه توصیه به توقف کار بخصوص در نوبت های ظهر و عصر می نماید. در صورتی که شاخص TWL علاوه بر اینکه توصیه به توقف کار در نوبت های ذکر شده ندارد، اجازه کار متوسط (کارکنان تحت مطالعه در طول ساعات کار به طور میانگین دارای متابولیسم کاری متوسط بودند) را با توجه پروفایل پیشنهادی شاخص به کارکنان تحت استرس حرارتی می دهد. دلیل اصلی عدم مشابهت پروتکل های مدیریتی این دو شاخص برای کار در محیط های گرم، به میزان حساسیت آن ها به اثر خنک کنندگی پارامتر مهم جوی (سرعت باد) برمی گردد و با توجه به اینکه مکان مطالعه در منطقه بیابانی و غیرمسکونی، مستقر بوده و نیز محل اندازه گیری های متغیرهای محیطی در ارتفاع ۶ متری از سطح زمین انجام پذیرفته لذا میانگین سرعت جریان هوای به طور قابل ملاحظه ای وجود داشته است (میانگین سرعت باد برابر با  $0.45 \pm 1/6$  m/s بود) که به طور مستقیم در محاسبه شاخص TWL (برخلاف شاخص WBGT) لحاظ شده است. سایر پژوهشگران نیز به این نقص (عدم حساسیت مناسب شاخص WBGT به این پارامتر) اشاره کرده اند [۹، ۱۱، ۲۵، ۱۲].

در گروه سرپوشیده، شاخص های استرس حرارتی WBGT و TWL با توجه به میانگین مقادیر آن ها در هر نوبت اندازه گیری، ارزیابی یکسانی از شرایط محیطی مبنی بر عدم وجود استرس حرارتی نشان دادند. قابل ذکر است مقدار گرمایی که هر دو شاخص در نوبت اول (صبح) نشان دادند نسبت به نوبت های دوم (ظهر) و سوم (عصر)، بالاتر بود. دلیل آن این است که در ابتدای ورود کارکنان به داخل محل کار، سیستم سرمایشی

نوبت عصر به دلیل کاهش چشمگیر دمای تابشی و افزایش سرعت باد، کاهش میزان استرس حرارتی نسبت به نوبت ظهر را نشان دادند. این یافته نشان داد که همبستگی خوبی بین دو شاخص وجود دارد ( $p < 0.05$ ) ولی با این وجود تفاوت های آشکاری در بین ارزیابی میزان استرس حرارتی به وسیله آن ها در طول شیفت کاری گروه روباز، حاصل شد. مقادیر قابل توجهی از شاخص WBGT در نوبت ظهر از  $30^\circ\text{C}$  تجاوز کرد و همچنین تمامی مقادیر این شاخص در نوبت عصر از  $28^\circ\text{C}$  بالاتر بود. مقادیر  $31^\circ\text{C}$  و  $28^\circ\text{C}$ ، حدود مجاز سازمان ACGIH در سال ۲۰۱۳ و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی سال ۹۱ به ترتیب برای بار کاری سبک و متوسط در ۷۵-۱۰۰٪ کار و نیز برای یک شیفت ۸ ساعته کاری در نظر گرفته شده است. در حالیکه گروه روباز در شیفت بیشتر از ۸ ساعت یعنی مدت ۱۲ ساعت فعالیت پیوسته داشتند [۱۷، ۲۰]. لذا با استفاده از شاخص WBGT شرایط پر استرس حرارتی در محیط کاری افراد عملیات حفاری (گروه روباز) برقرار بود که می تواند سبب بروز بیماری های گرمایی شود. در صورتی که گزارشی مبنی بر عوارض مربوط به گرما در گروه روباز مشاهده نشد و فعالیت کاری آن ها بر طبق برنامه عادی روزانه، پیش می رفت؛ اما مقادیر شاخص TWL در نوبت ظهر با توجه به مقادیر استاندارد در جدول شماره ۱، کاملاً در منطقه سازگاری که اجازه کار سبک تا متوسط را به کارگران سازش یافته می دهد جای گرفته است [۹]. همچنین در نوبت عصر مقادیر شاخص TWL نزدیک به منطقه سبز که شرایط مساعدتری دارد، رسید.

مطالعه ما نشان می دهد که شاخص WBGT ابزار مناسبی برای تخمین ریسک حرارتی در مواجهه با گرما ( $C < 45$ ) نیست ولی شاخص TWL در پیش بینی و کنترل اثرات مواجهه با استرس حرارتی بهتر و منطقی تر ایفای نقش می کند. این یافته ها همخوانی کامل با مطالعات مختلف میلر و بیتز در استرالیا، اشنایدر و بیتز در امارات متحده عربی و چان و همکاران در چین دارد [۱۱] و ۲۱، ۲۳-؛ بنابراین هر چند همبستگی معنی داری



## منابع

1. Golmohamadi R, Ali-Abadi M. Air conditioning control in workplace, 1. Hamedan: Daneshjoo publishing. 2012;4-3. [Persian]
2. Parsons KC. Human thermal environments. London: Taylor & Francis. 1993;219-49
3. Golbabaie F, Omidvari M. Human & heat stress in workplace, 1. Tehran: Tehran university. 2002;191-206. [Persian]
4. Bricknell M. Heat illness in the army in cyprus. occupational medicine. 1996;46(4):304-12.
5. Brotherhood J. The Practical assessment of heat stress. Heat Stress: Physical exertion and environment. 1987;451-68.
6. Hanson M. Development of a draft British standard: the assessment of heat strain for workers wearing personal protective equipment. Annals of occupational hygiene. 1999;43(5):309-19.
7. Malchaire J, Gebhardt H, Piette A. Strategy for evaluation and prevention of risk due to work in thermal environments. Annals of occupational hygiene. 1999;43(5): 367-76.
8. Alfano FRdA, Malchaire J, Palella BI, Riccio G. WBGT Index revisited After 60 Years of Use. Annals of Occupational Hygiene. 2014;meu050.
9. Brake DJ, Bates GP. Limiting metabolic rate (Thermal Work limit) as an index of thermal stress. Applied occupational and environmental hygiene. 2002;17(3):176-186
10. Available from: <http://mvaust.com.au>
11. Bates G, Miller V. Empirical validation of a new heat stress index. Journal of Occupational Health Safety-Aust NZ. 2002;18(2):145-54
12. Chan AP, Yi W, Chan DW, Wong DP. Using the Thermal Work Limit as an Environmental Determinant of Heat Stress for Construction Workers. Journal of Management in Engineering. 2012;29(4):414-23
13. Available from: <http://fa.wikipedia.org/wiki/اهواز>
14. ISO B. 8996: Ergonomics of the thermal environment-Determination of metabolic rate. BSI, London. 2004.
15. ISO I. 9920, Ergonomics of the thermal environment-Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Geneva: International Standard Organization. 1995.
16. Handbook—Fundamentals A, Edition S. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, Ga, USA; 2009, chapter 9.
17. Occupational Exposure Limit, Ministry of Health and Medical Education, Department of Health, Center for Health and the Environment, Third Edit: 1391
18. ISO I. 7243, Hot environments-Estimation of heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva: International Standards Organization. 1989.
19. Available from: <http://wunderground.com>.
20. ACGIH. "TLVs and BEIs: threshold limit values for

خاموش و محیط کار نسبتاً گرم بود؛ اما پس از سپری شدن زمان و با روشن بودن سیستم‌های خنک‌کننده، محیط کار از هوای نسبتاً گرم به هوای مطلوب رسید. به همین علت در نوبت‌های ظهر و عصر، مقادیر شاخص WBGT روندی نزولی و مقادیر شاخص TWL روندی صعودی داشت که نشان‌دهنده همبستگی بسیار خوب ( $p\text{-value} < 0.05$ ) بین آن‌هاست (مقادیر بالاتر شاخص جدید برخلاف شاخص WBGT، نشان‌دهنده شرایط مساعدتر محیط است).

نتیجه‌گیری می‌شود که علیرغم وجود همبستگی قوی و معکوس بین مقادیر شاخص‌های TWL و WBGT، ضعف‌ها و نواقصی به علت محافظه‌کار بودن شاخص WBGT در ارزیابی استرس حرارتی در این پژوهش وجود دارد. توصیه شاخص WBGT در شرایط بسیار گرم این است که فعالیت‌ها در این محیط‌ها باید متوقف شود و گرچه می‌تواند عامل بروز عوارض و علائم مواجهه با گرما گردد، در صورتی که عملاً کار و فعالیت در عرصه دکل‌های شرکت ملی حفاری اهواز جریان داشته است و کارگران علیرغم کار در این شرایط هیچ‌گونه علائم و عوارض ناشی از مواجهه با گرما بروز ندادند. به همین دلیل نیز توصیه‌های شاخص جدید TWL در این‌گونه شرایط گرمایی، توقف کار نبوده است. از مزایای شاخص TWL نسبت به شاخص WBGT این است که پارامتر سرعت جریان هوا در محاسبه و برآورد آن لحاظ شده است. همچنین قابل تأکید است که ارزیابی شاخص TWL برخلاف شاخص WBGT نیازی به تخمین میزان متابولیسم افراد محیط کاری ندارد (پروسه‌ای که می‌تواند به‌طور قابل توجهی در بین مکان‌های کاری و همچنین در طول شیفت تغییر کند) بلکه از بین شاخص‌هایی که تاکنون تدوین شده‌اند اولین شاخصی است که با استفاده از پارامترهای مهم جوی، به‌طور مستقیم، بیشینه حد مجاز متابولیسم را ارائه می‌دهد، از این‌رو افرادی که در ارزیابی میزان متابولیسم کاری آموزش ندیده‌اند به راحتی می‌توانند پروتکل آن را در بخصوص در مکان‌هایی که میزان کار مشخص است (سبک، متوسط و سنگین) نظارت و استفاده کنند.





chemical substances and physical agents." Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2013.

21. Miller V, Bates G. Hydration of outdoor workers in north-west Australia. *Journal of Occupational Health and Safety Australia and New Zealand*. 2007;23(1):79-87.

22. Miller VS, Bates GP. The Thermal Work Limit is a simple reliable heat index for the protection of workers in thermally stressful environments. *Annals of occupational hygiene*. 2007;51(6):553-561.

23. 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):4-5.

24. Farshad A, et al. Heat Stress Level among Construction Workers. *Iranian Journal of Public Health*. 2014;43(4):492-498

25. 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, [dissertation]. Perth: School of Public Health, Curtin Univ; 2002.

## Determination and comparison of TWL and WBGT thermal stress indices of an onshore drilling rig workers in Ahvaz

F. Hoveizi<sup>1</sup>, M. Ghasemkhani<sup>2</sup>

Received: 2015/01/17

Revised: 2015/04/08

Accepted: 2015/05/20

### Abstract

**Background and aims:** Health hazards under heat stress conditions are well known and many industrial workers expose to heat stressful environments. Protection of the health of workers with suitable productivity is very important; the idea requires adoption of a heat stress index that is both reliable and easy to use. Recent studies have found that Thermal Work Limit (TWL) performs better than Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) as a predictor of the impact of environmental heat stress. The aims of this study was to evaluate the heat stress level using TWL and WBGT in indoor and outdoor work environments, as well as to identify the correlation between the values of indices in order to determine the optimal index.

**Methods:** The study was undertaken in June 2014 on an onshore drilling rig workers (21 subjects) as indoor group and administrative personnel (31 subjects) as outdoor group of National Iranian Drilling Company (NIDC) located in Ahvaz. Both TWL and WBGT were used to assess the thermal stress at the beginning, middle and end of the shift over 3 consecutive days. All analyses were performed using SPSS version 18.

**Results:** Based on TWL and WBGT values no significant thermal stress was identified in the indoor working group, but in the outdoor group, the TWL shown different evaluation compared to WBGT. There was significant correlation between the indices at all three shifts in both groups ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** WBGT values exceeded of TLV, whereas no case of heat illness was reported during 3 days of the study among the outdoor group. Therefore, the TWL has been shown to be more realistic index than WBGT which was found to be too conservative and inappropriate.

**Keywords:** Heat Stress, TWL, WBGT, Drilling rig.

1. MSc, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. f.hoveizi@gmail.com

2. (Corresponding author) Associate Professor - Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. ghasemkh@tums.ac.ir.