

کاربرد پرتو مادون قرمز به جای پرتو خورشیدی در معادله شاخص استرس محیطی در محیط خارج از ساختمان

حبيب الله دهقان^۱، جعفر اکبری^۲، مصصومه چاوشی^{۳*}

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: در بسیاری از محیط‌های کار، به خصوص در فصل تابستان، ارزیابی استرس حرارتی ضروری است. پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی کاربرد پرتوهای مادون قرمز به جای شدت پرتو خورشیدی در معادله شاخص استرس محیطی انجام شد.

روش‌ها: این مطالعه مقطعی در ماه‌های خداداد تا آبان سال ۱۳۹۲ از ساعت ۸ تا ۱۸ در شرایط آب و هوایی شهر اصفهان انجام شد. شدت پرتو مادون قرمز در ۴ جهت اصلی و بالا و پایین کره مسی ترمومتر گویسان اندازه‌گیری شد. همچنین، دمای تر، دمای خشک و دمای گویسان اندازه‌گیری گردید. سپس، شاخص دمای تر گویسان (WBGT) یا شدت پرتو خورشیدی (Environmental stress index ESI_{IR}) یا (Wet bulb globe temperature) بر اساس شدت پرتو مادون قرمز (ESI_{IR}) یا Pearson رگرسیون برای تحلیل داده‌ها استفاده گردید.

یافته‌ها: بین شاخص WBGT و شاخص ESI_{IR} در هر ۶ جهت همبستگی بالای وجود داشت ($P < 0.01$). مقدار ضریب همبستگی بین دو شاخص برای هر ۶ جهت برابر 0.963 ± 0.001 بود. دست آمد. برآورد شاخص WBGT از متغیر پیش‌بینی کننده شاخص ESI_{IR} از طریق معادله $WBGT = 0.959 ESIx + 1/427 = 0.946 R^2 = 0.94$.

نتیجه‌گیری: برای ارزیابی استرس گرمایی در محیط‌های کاری خارج از ساختمان، شاخص ESI_{IR} که بر اساس دمای خشک، رطوبت نسبی و شدت پرتو مادون قرمز محاسبه شد، برآورد کننده خوبی برای شاخص WBGT است.

واژه‌های کلیدی: استرس حرارتی، انرژی خورشیدی، پرتو مادون قرمز، آب و هوای

ارجاع: دهقان حبيب الله، اکبری جعفر، چاوشی مصصومه. کاربرد پرتو مادون قرمز به جای پرتو خورشیدی در معادله شاخص استرس محیطی در محیط خارج از ساختمان. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۲؛ ۱۳(۲): ۱۷۵-۱۷۹.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۸

مقدمه

شاخص‌های استرین گرمایی به طور گسترده در قرن‌های اخیر در پیش‌بینی تحمل گرمایی برای فعالیت‌های گوناگون در محیط‌های گرم استفاده می‌شود. اگرچه، شرایط آب و هوایی، شدت انجام کار و نوع پوشش در بروز استرس گرمایی مؤثر است، اما استرین گرمایی برآیند فیزیولوژیکی از استرس گرمایی است یا به عبارت دیگر، پاسخ فیزیولوژیکی به استرس گرمایی تعریف شده است. گرما سبب پیامدهایی خاص می‌شود که می‌توان به افزایش بروز حوادث و کاهش سطح ایمنی اشاره نمود. گرمایی بیش از حد در صنایع سبب افزایش خط‌پذیری افراد، کاهش کارایی و بهره‌وری فرد و همچنین، سبب بیماری‌های مانند کرامپ گرمایی، سنکوپ گرمایی، خستگی گرمایی و شوک گرمایی می‌گردد (۱).

با توجه به اهمیت بهره‌وری، نیروی انسانی، ارتقای سطح تولید و کیفیت آن و همچنین، این که گرما به عنوان یکی از عوامل زیان‌آور در صنایع ایران شناخته شده است، نیاز به ارزیابی آن به شدت احساس می‌گردد. شاخص دمای تر گویسان (WBGT) یا (Wet bulb globe temperature) از طور کسرهای برای ارزیابی استرس گرمایی کاربرد دارد (۲-۴).

شاخص WBGT یک میانگین وزنی از دمای تر طبیعی (T_{nw}) و دمای تابشی (T_g) می‌باشد و به طور مکمل هنگامی که تابش خورشید وجود داشته باشد، از پارامتر T_a دمای محیط نیز استفاده می‌شود و از معادله ۱ و ۲ در هنگام ارزیابی استفاده می‌کند:

$$\text{معادله ۱} \quad (\text{در محیط کار رویاز}) \quad WBGT = 0.7 T_{nw} + 0.2 T_g + 0.1$$

$$\text{معادله ۲} \quad (\text{در محیط کار سر پوشیده}) \quad WBGT = 0.7 T_{nw} + 0.3 T_g$$

از محدودیت عده این شاخص می‌توان پاسخ نامطلوب به رطوبت و جریان هوای دقت ناکافی در ارزیابی فعالیت و لباس ذکر کرد. هزینه بالای دستگاه و عدم تقبل هزینه از سوی کارفرما و طولانی بودن مدت زمان اندازه‌گیری دمای گویسان (برای رسیدن به تعادل دمایی با محیط ۲۰ تا ۳۰ دقیقه زمان لازم دارد)، از معایب این شاخص است (۵-۸).

Belding و Ramanathan در بررسی کنترل شده آزمایشگاهی ثابت کردند که شاخص WBGT برای افراد در حال تمرين ۳۷/۷ درجه سانتیگراد است. اگر رطوبت بالا و سرعت جریان هوا کم باشد (شرایط تبخیر محدود)، ضربان قلب، دمای پوست و مقعد، نرخ عرق و پریشانی ذهنی افراد بسیار بیشتر

۱- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

Email: ha_dehghan@hlth.mui.ac.ir

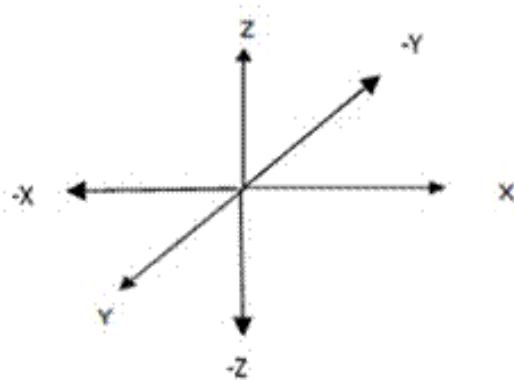
نویسنده مسؤول: حبيب الله دهقان

محاسبه گردید. همزمان با اندازه‌گیری پارامترهای محیطی، پرتوهای مادون قرمز نیز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری آن از دستگاه فتوتمتر دیجیتالی Hagner مدل EC-IR استفاده شد. این دستگاه پرتو مادون قرمز را در محدوده طول موج ۷۰۰-۱۱۵۰ نانومتر بر حسب W/m^2 محاسبه می‌کند. بر اساس دستورالعمل سازنده با توجه به مدت زمان استفاده از دستگاه به کالیبراسیون خارجی احتیاجی نیست و کالیبراسیون اولیه آن توسط شرکت سازنده صورت گرفته است. شدت پرتو مادون قرمز در ۶ جهت اصلی شامل بالا (Z)، پایین (-Z)، چپ (X-)، راست (X)، جلو (Y) و عقب (Y-) در فاصله ۱۰ سانتیمتری محل استقرار گوی دماستن گویسان مستقر بر روی دستگاه WBGT متر انجام گرفت (شکل ۱) و سپس، شاخص ESI_{IR} بر اساس شدت تابش پرتوی مادون قرمز (IR)، رطوبت نسبی (RH) و دمای خشک (Ta) با کاربرد معادله ۴ محاسبه شد.

$$\text{ESI} = .62\text{Ta} - .007\text{RH} + .002\text{IR}$$

(معادله ۴)

$$+ .0043(\text{Ta} \cdot \text{RH}) - .0078(.1 + \text{RH}) - 1$$



شکل ۱. موقعیت اندازه‌گیری پرتو مادون قرمز در ۶ جهت x, y, z و -x, -y, -z با مزکیت ترمومتر گویسان

در پایان اندازه‌گیری‌ها برای هر پارامتر تعداد ۳۱۴۹ داده به دست آمد. سپس، با نرمافزار SPSS نسخه ۱۶ (version 16, SPSS Inc., Chicago, IL) استفاده از آزمون Kolmogrov-Smirnov وPearson برای تعیین ارتباط بین ESI و WBGT، آزمون آماری R² و تحلیل رگرسیون مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها

پارامترهای مورد اندازه‌گیری در مطالعه حاضر شامل دمای خشک، دمای تر، دمای گویسان، شدت تابش پرتو مادون قرمز در جهات بالا (Z)، پایین (-Z)، چپ (X-)، راست (X)، جلو (Y) و عقب (Y-)، شاخص ESI_{IR} در جهات بالا (Z)، پایین (-Z)، چپ (X-)، راست (X)، جلو (Y) و عقب (Y-) شاخص دمای تر گویسان و رطوبت نسبی بود که میانگین، انحراف معیار و گستره آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

از زمانی است که رطوبت کم و سرعت جریان هوا زیاد (شرایط تبخیر آزاد) باشد. آن‌ها توصیه کردنده که دو مجموعه حد یکی برای شرایط مرطوب و دیگری برای شرایط خشک به WBGT برای جریان این نقص اضافه شود. تجارب صنعتی منجر به دخالت دادن سرعت جریان هوا در شاخص WBGT شد؛ به طوری که در دستورالعمل ایزو ۷۲۴۳ که طریق ارزیابی تنفس گرمایی با شاخص WBGT را نشان می‌دهد، سرعت جریان هوا کمتر و بیشتر از ۱/۶ متر بر ثانیه، مقدار این شاخص را به اندازه ۳ درجه سانتیگراد تغییر می‌دهد. متوجهانه، دقت اندازه‌گیری شاخص WBGT در ارتباط با حذف دمای تابشی، استفاده از ابزارهای غیر استاندارد و یا استفاده از روش‌های کالیبراسیون نامطلوب کم شده است.^(۴)

Moran و همکاران شاخص استرس محیطی (ESI) یا (Environmental stress index) را بر اساس اندازه‌گیری شدت تابش پرتوی خورشیدی (SR)، رطوبت نسبی (RH) و دمای خشک (T_a) و با کاربرد معادله ۳ معرفی کردنده.^(۹)

$$\text{ESI} = .62\text{Ta} - .007\text{RH} + .002\text{SR}$$

(معادله ۳)

$$+ .0043(\text{Ta} \cdot \text{RH}) - .0078(.1 + \text{RH}) - 1$$

Moran و همکاران در مطالعه‌ای با بررسی امکان جایگزینی شاخص استرس محیطی (ESI) با شاخص WBGT در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، گرم و مرطوب و بسیار گرم و خشک، نشان دادند که همبستگی بین دو شاخص WBGT و ESI به خصوص در نواحی بسیار گرم و خشک بالا بود ($R^2 = .985$). مزیت استفاده از این شاخص پاسخ سریع سنسور دستگاه سنجش پرتو مادون قرمز و عدم نیاز به دستگاه‌های دست و پاگیر است.^(۹) در مطالعه دیگری که Moran و همکاران بر روی اندازه‌گیری شاخص ESI در بالاتر و پایین تر از سطح دریا انجام دادند، برای اندازه‌گیری تابش خورشیدی از ۲ وسیله، یک سنسور کوچک ۵ میلی‌متری مادون قرمز و یک پیرونومتر استفاده شد و همبستگی دو شاخص WBGT و ESI زمانی که تابش خورشیدی با دستگاه سنجش پرتو مادون قرمز اندازه‌گیری شده بود، برابر $R^2 = .973$ بود.^(۱۰) زمانی که این پارامتر با پیرونومتر اندازه‌گیری گردید، $R^2 = .933$ بود.

از این‌رو، با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در خصوص کاربرد شاخص WBGT، سبب شد تا امکان کاربرد سنجش پرتوهای مادون قرمز به جای پرتوهای گرمایی خورشیدی در معادله محاسباتی شاخص ESI_{IR} مورد بررسی قرار گیرد و توان برآورد کنندگی شاخص ESI_{IR} به عنوان یک پیش‌بینی کننده شاخص WBGT در شرایط آب و هوایی اصفهان مورد تحلیل قرار گیرد.

روش‌ها

مطالعه حاضر به صورت تحلیلی مقطعی در شهر اصفهان به مدت ۴۸ روز در ماه‌های خداداد، تیر، مهر و آبان از ساعت ۸ صبح تا ۱۸ بعدازظهر در سال ۱۳۹۲ انجام شد. پارامترهای دمای خشک، دمای تر، رطوبت نسبی و دمای گویسان در ارتفاع ۱۱۰ سانتیمتری از سطح زمین با کاربرد دستگاه سنجش استرس حرارتی WBGT متر مدل ۱۳۹۶ (TES ۱۳۹۶)، به فواصل زمانی ۵ دقیقه در محیط خارج از ساختمان دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان اندازه‌گیری شد و با WBGT معادله ۱ Maynard و Yaglue (معادله ۱) شاخص

جدول ۱. مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین (انحراف معیار) پارامترها و شاخص‌های تنفس حرارتی مورد مطالعه

شاخص	شادت پرتو مادون قرمز (W/M^2)	شاخص دمای تر گویسان (°C)	شاخص استرس محیطی (°C)	شاخص
دماهی خشک (°C)	دماهی تر (°C)	دماهی گویسان (°C)	در راستای محور ←	در راستای محور →
۲۸/۴ ± ۵/۹	۲۰/۰ ± ۲/۷	۳۵/۸ ± ۶/۵	X	۱۳/۸
۱۴/۳ ± ۲/۷	۴۹/۹	۲۲/۷ ± ۱۱/۰	Y	۷/۲
۳۵/۸ ± ۶/۵	۵۵/۴	۲۰/۰ ± ۳/۶	Z	۱۹/۰
۲۲/۷ ± ۱۱/۰	۲۹/۴	۱۰/۵/۱ ± ۲۷/۸	-X	۹/۲
۲۰/۰ ± ۳/۶	۱۵۶/۰	۱۰/۵/۱ ± ۲۷/۳	-Y	۱۰/۲
۱۰/۵/۱ ± ۲۷/۸	۱۵۸/۰	۱۰/۵/۲ ± ۲۷/۳	-Z	۸/۰
۱۰/۵/۱ ± ۲۷/۳	۱۵۹/۰	۱۰/۵/۰ ± ۲۷/۲	X	۸/۰
۱۰/۵/۲ ± ۲۷/۳	۱۶۰/۰	۱۰/۵/۰ ± ۲۷/۲	Y	۸/۰
۱۰/۵/۰ ± ۲۷/۲	۱۵۳/۱	۱۰/۵/۰ ± ۲۷/۲	Z	۹/۰
۱۰/۵/۰ ± ۲۷/۲	۱۵۷/۰	۱۰/۵/۱ ± ۲۷/۲	-X	۱۰/۶
۱۰/۵/۱ ± ۲۷/۲	۲۹/۱	۲۰/۶ ± ۳/۶	-Y	۱۰/۶
۲۰/۶ ± ۳/۶	۲۹/۰	۲۰/۷ ± ۳/۶	-Z	۱۰/۵
۲۰/۷ ± ۳/۶	۲۹/۰	۲۰/۶ ± ۳/۵	X	۱۰/۶
۲۰/۶ ± ۳/۵	۲۹/۱	۲۰/۵ ± ۳/۵	Y	۱۰/۷
۲۰/۵ ± ۳/۵	۲۸/۹	۲۰/۶ ± ۳/۷	Z	۱۰/۶
۲۰/۶ ± ۳/۷	۲۸/۹	۲۰/۵ ± ۳/۶	-X	
۲۰/۵ ± ۳/۶			-Y	
۲۰/۵ ± ۳/۶			-Z	

بحث

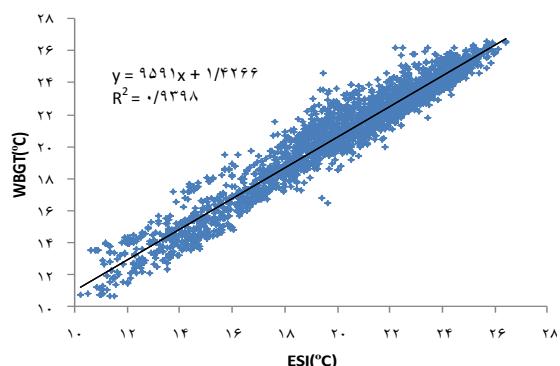
مطالعه حاضر به منظور بررسی امکان استفاده از سنسور اندازه‌گیری پرتوهای مادون قرمز به جای سنسور اندازه‌گیری پرتو خورشیدی در معادله شاخص استرس محیطی انجام گرفت و ارتباط بین شاخص دمای تر گویسان و شاخص استرس محیطی مورد بررسی قرار گرفت تا امکان برآورد شاخص WBGT از طریق شاخص ESI_{IR} بررسی شود.

شاخص WBGT امروزه به طور گسترده‌ای برای ارزیابی استرس گرمایی در محیط‌های کار کاربرد دارد که جهت استفاده از آن پارامترهای دمای تر طبیعی، دمای گویسان و دمای خشک اندازه‌گیری می‌شود و شاخص ESI_{IR} بر اساس اندازه‌گیری سه پارامتر تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و دمای خشک محاسبه می‌گردد. با توجه به محدودیت‌های اندازه‌گیری پرتوهای خورشیدی (گرانی دستگاه) و در دسترس نبودن آن، در مطالعه حاضر به جای اندازه‌گیری شدت پرتو خورشیدی، پرتو مادون قرمز خورشیدی اندازه‌گیری شد و در معادله محاسباتی شاخص استرس محیطی مورد استفاده قرار گرفت و قابلیت اعتماد شاخص ESI_{IR} به عنوان شاخص برآورد کننده شاخص WBGT ارزیابی شد.

بر اساس نتایج مطالعه، بین مقدار شاخص ESI_{IR} و مقدار شاخص WBGT که به طور همزمان و به تعداد ۳۱۴۹ عدد در شرایط آب و هوایی گرم و خشک اصفهان همبستگی بالایی وجود داشت. در شکل ۲ و معادله رگرسیونی (معادله ۵) نیز ارتباط این دو شاخص با ضریب تبیین بالا این موضوع را نشان می‌دهد. شاخص ESI_{IR} می‌تواند برآورد کننده خوبی برای شاخص WBGT در محیط خارج از ساختمان برای شرایط آب و هوایی گرم و خشک باشد. نتایج به دست آمده در مطالعه با یافته‌های برخی مطالعه‌ها در مورد شاخص ESI_{IR} و

تحلیل آماری نتایج نشان داد که بین شاخص WBGT و شاخص ESI_{IR} در هر ۶ جهت همبستگی بالایی وجود داشت (بالاتر از ۰/۹۶) و مقدار ضریب همبستگی بین دو شاخص برای هر ۶ جهت برابر ۰/۹۶۰ به دست آمد ($P < 0/001$). ضریب همبستگی بین شاخص ESI_{IR} در ۶ جهت برابر ۱ به دست آمد ($P < 0/001$). همچنین، معادله خطی بین دو شاخص ESI_{IR} و شاخص WBGT (شکل ۲) بر اساس معادله ۵ محاسبه شد ($R^2 = 0/۹۴$).

$$\text{WBGT} = 0/959 \text{ESI}_{\text{IR}} + 1/427 \quad (\text{معادله ۵})$$



شکل ۲. ارتباط شاخص دمای تر گویسان و شاخص استرس محیطی در شرایط آب و هوایی اصفهان

ESI: Environmental stress index; WBGT: Wet bulb globe temperature

۲ وسیله، یک سنسور کوچک ۵ میلی‌متری مادون قرمز و یک پیرونومتر استفاده شد. همبستگی دو شاخص WBGT و ESI زمانی که تابش خورشیدی با لامپ IR اندازه‌گیری شده بود، برابر $= 0.973^{\circ}\text{R}$ و زمانی که این پارامتر با پیرونومتر اندازه‌گیری شده بود، $= 0.933^{\circ}\text{R}$ بود (۲). همبستگی بین دمای گویسان و شدت پرتوی IR در سطح معنی‌داری > 0.01 بین بیشترین مقدار $83/5$ درجه X و کمترین مقدار $66/5$ درجه Z متغیر بود (۳).

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر بین شاخص استرس محیطی (ESI_{IR}) به دست آمده با اندازه‌گیری پارامتر شدت تابش پرتو مادون قرمز و شاخص دمای گویسان (WBGT) همبستگی بالای وجود دارد و این موضوع نشان می‌دهد که این شاخص استرس محیطی می‌تواند برآورد کننده خوبی برای شاخص WBGT در ارزیابی استرس گرمایی در محیط‌های کاری خارج از ساختمان باشد.

تشکر و قدردانی

مقاله بر گرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت حرفة‌ای می‌باشد و نویسنده‌گان بر خود لازم می‌دانند از خدمات همکاران آزمایشگاه‌های بهداشت حرفة‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان تشکر و قدردانی نمایند.

امکان جایگزینی این شاخص با WBGT در شرایط آب و هوایی گرم و خشک همخوانی دارد (۱۱-۱۳، ۵).

در مطالعه‌ای امکان جایگزینی شاخص ESI با شاخص WBGT در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، گرم و مرتبط و بسیار گرم و خشک بررسی شد. ضریب تبیین در رابطه بین شاخص‌های ESI و WBGT برای دو منطقه گرم و خشک و گرم و مرتبط برابر با $< 0.92^{\circ}\text{R}$ و برای ناحیه بسیار گرم و خشک برابر $> 0.981^{\circ}\text{R}$ به دست آمد. این موضوع نشان دهنده همبستگی

این دو شاخص، به خصوص در نواحی بسیار گرم و خشک می‌باشد (۵).

Moran و همکاران برای اعتبارخیزی به این شاخص در مطالعه دیگر، همبستگی شاخص ESI با شاخص WBGT را در نیمکره جنوبی و شمالی مقایسه کردند. داده‌ها در فاصله ۲ ماه (بین فوریه و مارس) از ۲ ایستگاه در نیوزیلند و در ۳ ایستگاه در فاصله ۴ ماه (از زوون تا فوریه) جمع‌آوری شد. وسایل اندازه‌گیری مانند مطالعه در شرایط آب و هوایی گرم و خشک بود، با این تفاوت که تابش خورشیدی در نیوزیلند در ایستگاه با پیرونومتر Christchurch و در ایستگاه LiCOR رادیومتر EPLY PSP اندازه‌گیری شد. آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که همبستگی بالای در دو ناحیه بین شاخص‌های ESI و WBGT $= 0.959^{\circ}\text{R}$ در فلسطین اشغالی و $= 0.973^{\circ}\text{R}$ در نیوزیلند به دست آمد (۱۱).

در مطالعه دیگری که Moran و همکاران روی ارزیابی شاخص ESI در بالاتر و پایین‌تر از سطح دریا انجام دادند، برای اندازه‌گیری تابش خورشیدی از

References

1. Gotshall RW, Dahl DJ, Marcus NJ. Evaluation of a physiological strain index for use during intermittent exercise in the heat. *J Exp Physiol* 2011; 4(3): 22-9.
2. Epstein Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. *Ind Health* 2006; 44(3): 388-98.
3. 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.
4. Ramanathan NL, Belding HS. Physiological evaluation of the WBGT index for occupational heat stress. *Am Ind Hyg Assoc J* 1973; 34(9): 375-83.
5. Onkaram B, Stroschein LA, Goldman RF. Three instruments for assessment of WBGT and a comparison with WGT (Botsball). *Am Ind Hyg Assoc J* 1980; 41(9): 634-41.
6. Budd GM. Wet-bulb globe temperature (WBGT)-its history and its limitations. *J Sci Med Sport* 2008; 11(1): 20-32.
7. Kerslake DM. The stress of hot environments. Cambridge, UK: Cambridge University Press Archive; 1972.
8. Malchaire JB. Evaluation of natural wet bulb and wet globe thermometers. *Ann Occup Hyg* 1976; 19(3-4): 251-8.
9. Moran DS, Pandolf KB, Shapiro Y, Heled Y, Shani Y, Mathew WT, et al. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). *J Therm Biol* 2001; 26(4): 427-31.
10. Moran DS, Pandolf KB, Shapiro Y, Laor A, Heled Y, Gonzalez RR. Evaluation of the environmental stress index for physiological variables. *J Therm Biol* 2003; 28(1): 43-9.
11. Moran DS, Pandolf KB, Vitalis A, Heled Y, Parker R, Gonzalez RR. Evaluation of the environmental stress index (ESI) for the southern hemisphere. *J Therm Biol* 2004; 29(7): 535-8.
12. Moran DS, Pandolf KB, Heled Y, Gonzalez RR. Evaluation of the environmental stress index (ESI) for different terrestrial elevations below and above sea level. *Journal of Thermal Biology* 2004; 29(6): 291-7.
13. Moran DS, Pandolf KB, Vitalis A, Heled Y, Parker R, Gonzalez RR. The role of solar and UV radiation in environmental stress assessment. *J Therm Biol* 2004; 29(7): 529-33.

Application of Infrared Radiation Instead of Solar Radiation in the Environmental Stress Index Equation in Outdoor Weather Conditions

Habibollah Dehghan¹, Jafar Akbari², Masuomeh Chavoshi²

Original Article

Abstract

Background: In many work environments, especially in the summer, heat stress assessment is necessary. The present research aimed to determine the feasibility of the application of infrared (IR) beams instead of the intensity of solar radiation in the environmental stress index (ESI) equation.

Methods: This cross-sectional study was performed from 8 am to 18 pm from June to October 2013 in the weather conditions of Isfahan, Iran. IR intensity was measured in 4 main directions and top and bottom of the globe thermometer. Moreover, wet bulb temperature, dry bulb temperature, and globe temperature were measured. The wet bulb globe temperature (WBGT) and environmental stress index (ESI_{IR}) were calculated based on the IR intensity instead of solar radiation. Pearson correlation test and regression analysis were used to analyze the data.

Findings: The results showed that there is high correlation between WBGT and ESI_{IR} in all 6 directions ($P < 0.01$). The correlation coefficients between the two indices were 0.963 for all 6 directions. The estimate of WBGT of ESI_{IR} , the predictor variable, was gained through the following equation, $WBGT = 0.959 ESI_{IR} + 1.427$ ($R^2 = 0.94$).

Conclusion: To evaluate heat stress in the outdoor work environment, ESI_{IR} , calculated based on dry bulb temperature, relative humidity, and IR, is a good estimator for WBGT.

Keywords: Heat stress, Solar energy, Infrared ray, Weather

Citation: Dehghan H, Akbari J, Chavoshi M. Application of Infrared Radiation Instead of Solar Radiation in the Environmental Stress Index Equation in Outdoor Weather Conditions. J Health Syst Res 2017; 13(2): 175-9.

1- Associate Professor, Department of Occupational Health, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
 2- MSc Student, Student Research Committee AND Department of Occupational Health, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

Corresponding Author: Habibollah Dehghan, Email: ha_dehghan@hlth.mui.ac.ir