

بررسی استرس گرمایی در یک معدن روباز سنگ آهن و ارتباط آن با استرین فیزیولوژیکی

محمد جواد جعفری^۱ - حسن اصیلیان مهابادی^۲ - سهیلا خداکریم^۲ - غلام حیدر تیموری^{۳*}

teimorigh1@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۲

مکیده

مقدمه: استرس گرمایی در محیط‌های کاری روباز معدن سنگ آهن وجود دارد و می‌تواند باعث مشکلات بهداشتی و ایمنی کارگران شود. هدف از انجام این مطالعه بررسی استرس گرمایی در مشاغل یک معدن روباز سنگ آهن بر اساس شاخص دمای ترگویسان و ارتباط آن با استرین فیزیولوژیکی می‌باشد.

روش کار: این مطالعه به صورت مقطعی در تابستان ۱۳۹۳ در معدن روباز، بر روی ۱۲۰ نفر نمونه مرد شاغل انجام گرفت. پارامترهای فیزیولوژیکی دمای عمقی و ضربان قلب براساس استاندارد ISO9886 اندازه‌گیری شد و شاخص‌های استرین فیزیولوژیکی شامل PSI و PSIHR با استفاده از فرمول محاسبه گردید. متغیرهای محیطی در طول شیفت کاری و نیز به طور هم‌زمان با پارامترهای فیزیولوژیکی اندازه‌گیری و ثبت شدند. شاخص دمای ترگویسان بر اساس استاندارد ISO7243 و با استفاده از فرمول محاسبه گردید. با استفاده از نرم‌افزار SPSS22 تجزیه و تحلیل آماری انجام گرفت.

یافته‌ها: میانگین شاخص دمای ترگویسان محاسبه شده برای افراد 29.9°C به دست آمد، واحدهای حفاری بیش‌ترین و کراشر و کارخانه کم‌ترین میزان شاخص دمای ترگویسان را دارا بودند (به ترتیب 31.6°C و 29.05°C). میزان مواجهه کارگران با استرس گرمایی بر اساس شاخص دمای ترگویسان در مقایسه با استاندارد در کلیه واحدهای کاری بالاتر از حدود مجاز توصیه شده تعیین گردید. بین شاخص دمای ترگویسان با شاخص‌های استرین فیزیولوژیکی رابطه معناداری وجود داشت ($P < 0.001$). ضریب هم‌بستگی پیرسون بین شاخص دمای ترگویسان با شاخص استرین فیزیولوژیکی و شاخص استرین فیزیولوژیکی بر پایه ضربان قلب به ترتیب مساوی 0.658 و 0.566 به دست آمد.

نتیجه‌گیری: شاخص دمای ترگویسان هم‌بستگی بالاتری با شاخص استرین فیزیولوژیکی نشان داد و میزان استرس گرمایی در واحدهای کاری معدن بیش‌تر از حدود مجاز توصیه شده بود که باید تدابیری برای کنترل استرس گرمایی جهت مراقبت از کارگران اتخاذ شود.

کلمات کلیدی: استرس گرمایی، معدن روباز، استرین فیزیولوژیکی، سنگ آهن

۱- استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
 ۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 ۳- استادیار گروه اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
 ۴- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

مقدمه

استرس گرمایی در محیط‌های کاری بیش‌تر مشاغل، خصوصاً مشاغلی که محیط کارشان روباز است و هم‌چنین از طریق فرآیند کار گرما دریافت می‌کنند، یک خطر جدی برای سلامتی و ایمنی کارگران به شمار می‌رود (۱). با توجه به گزارش سازمان ملی ایمنی و بهداشت شغلی امریکا در طی سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۸۳، اغلب موارد بیماری ناشی از استرس گرمایی در معادن در طول شیفت روز کاری اتفاق می‌افتد. این می‌تواند به خاطر بالاتر بودن گرمای هوا در طول روز باشد و در نتیجه بررسی گرمای محیط کار می‌تواند برای کارگران و مدیریت در مورد خطر بیماری‌های ناشی از گرما مفید باشد (۲). مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه طولانی مدت با گرما در محیط‌های کاری باعث اختلالاتی خفیف تا شدید هم‌چون خستگی گرمایی، سنکوپ گرمایی، کرامپ عضلانی و گرم‌زدگی می‌شود (۳) که می‌تواند منجر به مشکلات مربوط به سلامت روان، کاهش سطح ایمنی و افزایش میزان بروز حوادث و کاهش بهره‌وری گردد (۱، ۴).

در مطالعه‌ای که حیدری و همکاران در سال ۲۰۱۵ با موضوع ارزیابی استرس گرمایی محیط‌های شغلی روباز در سطح کشور انجام دادند، نتایج نشان داد که مواجهه با گرما بر اساس شاخص دمای ترگویسان در کل کشور در فصل تابستان (در ساعات ۱۲ الی ۳ بعدازظهر) بیش از حد مجاز بود و در بسیاری از مناطق کشور، افراد نه تنها در تابستان بلکه در فصل بهار نیز شرایط بسیار گرم را تجربه می‌کنند. با توجه به وضعیت موجود و پیش‌بینی تنش‌های حرارتی در رابطه با افزایش دمای هوا، کارگرانی که در فضاهای روباز مشغول فعالیت هستند. با استرس گرمایی بیش‌تری در دهه‌های

آتی مواجه خواهند شد و بایستی در زمینه بهداشت شغلی برنامه‌ریزی صورت پذیرد (۵).

برای ارزیابی استرس گرمایی در محیط‌های کاری گرم، شاخص‌های گرمایی پیشنهاد شده‌اند که این شاخص‌ها با توجه به مبنای کارشان در سه گروه شاخص‌های منطقی (تحلیلی)، تجربی و مستقیم طبقه‌بندی می‌شوند (۶). شاخص دمای ترگویی سان (WBGT)، یک شاخص تجربی است که در سال ۱۹۵۷ ارایه شد و به طور گسترده به عنوان یکی از شاخص‌های استرس گرمایی از آن استفاده می‌شود (۷، ۸). اگر چه برخی از محققین تناقض بین شاخص دمای ترگویسان و استرس‌های فیزیولوژیکی گرمایی را شناسایی کرده‌اند (۹)، برخی به این نتیجه رسیدند که شاخص دمای ترگویسان پیش‌بینی‌کننده مناسب برای استرس فیزیولوژیکی ناشی از گرما می‌باشد (۱۰). Parsons در سال ۲۰۰۶ ادعا کرد که شاخص دمای ترگویسان دارای اعتبار، قابلیت اطمینان و قابلیت استفاده است و در حال حاضر می‌تواند در سراسر جهان برای کنترل استرس گرمایی در اماکن نظامی، صنعتی، خانگی، ورزشی و کاربردهای تجاری مورد استفاده قرار بگیرد (۸). سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) این شاخص را به عنوان شاخص ارزیابی تنش گرمایی محیط‌های کاری مطابق با استاندارد شماره ISO-7243 پذیرفته است (۱۱) و سازمان ACGIH، حد تماس قابل قبول با گرما را بدون اثرات نامطلوب بهداشتی برای همه کارگران ارایه داد (۱۲) که مورد تایید سازمان بهداشت و ایمنی شغلی (OSHA) و انجمن بهداشت صنعتی آمریکا (AIHA) قرار گرفت (۱۳).

تاکنون مطالعات مختلفی بر روی شاخص گرمایی دمای ترگویسان و پاسخ‌های فیزیولوژیکی افراد در محیط‌های کاری گرم انجام شده است

(۶). در بررسی استرس گرمایی کارکنان معدن سنگ آهن استرالیا، دمای عمقی افراد در پایان شیفت کاری نسبت به ابتدای شیفت کاری بالاتر بود و مشخص گردید که مقادیر دمای عمقی در ۲۰ درصد افراد بالاتر از حدود توصیه شده استاندارد می باشد (۱۴). در مطالعه‌ای به منظور بررسی استرین فیزیولوژیکی معدن‌چیان، ضربان قلب و دمای عمقی آن‌ها به طور مداوم اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین ضربان قلب و دمای عمقی (رکتال) در طول شیفت به ترتیب Beats/min $102/8$ و $37/7^{\circ}\text{C}$ بود (۱۵). نتایج مطالعه دهقان و همکاران نشان داد که بین شاخص دمای ترگویسان و شاخص استرین فیزیولوژیکی ارتباط مستقیم و معنی‌داری وجود دارد (۱۶). بررسی ارتباط شاخص‌های استرین فیزیولوژیکی با شاخص دمای ترگویسان در اتاقک شرایط جوی بر روی زنان نشان داد که بین شاخص دمای ترگویسان با شاخص استرین فیزیولوژیکی، دمای دهانی و ضربان قلب رابطه مستقیم و معنی‌داری وجود دارد (۱۷). نتایج بررسی یک مطالعه اپیدمیولوژیکی از مواجهه گرمای محیط کار در سال ۲۰۱۴ نشان داد که در عمده مطالعات انجام شده در فضاهای بیرون و داخل از شاخص دمای ترگویسان استفاده شده است (۲). برای محاسبه شاخص دمای ترگویسان در فضاهای بیرون به ۳ متغیر محیطی دمای هوا (t_a)، دمای طبیعی (t_{nw}) و دمای گویسان (t_g) نیاز می باشد (۸). با وجود استفاده گسترده از شاخص دمای ترگویسان در سطح جهانی، این شاخص دارای محدودیت‌هایی نیز می باشد. اصلی‌ترین محدودیت این است هنگامی که در اثر افزایش رطوبت یا کاهش جریان هوا، میزان تبخیر عرق محدود می شود شاخص دمای ترگویسان نمی تواند

این استرین اضافه شده در اثر محدود شدن تبخیر را به درستی منعکس کند. از طرفی تفسیر مقادیر شاخص دمای ترگویسان به تعیین عوامل شدت فعالیت و نوع لباس کار نیاز دارد که برآورد این عوامل با کاربرد روش‌هایی مانند مشاهده یا استفاده از جدول، خطای قابل توجهی دارد. علاوه بر این، دقت و صحت شاخص دمای ترگویسان با خطاهای اندازه‌گیری مرتبط با دمای گوی سان ناشی از ابزار غیراستاندارد و با روش کالیبراسیون غیر قابل قبول کاهش می یابد (۱۸).

پاسخ بدن انسان به استرس گرمایی به عنوان استرین شناخته می شود که به وسیله پارامترهای فیزیولوژیکی قابل اندازه‌گیری است (۱۹). به منظور ارزیابی استرین گرمایی، شاخص استرین فیزیولوژیکی (PSI) توسط موران و همکاران ارایه گردید. این شاخص مقدار استرین فیزیولوژیکی را بر اساس دمای عمقی و ضربان قلب اندازه‌گیری می‌کند و دارای یک مقیاس ۱۰ نمره‌ای می باشد که عدد صفر آن نشانه عدم وجود استرین و عدد ۱۰ آن بیان‌گر بالاترین مقدار استرین گرمایی می باشد (۲۰). شاخص استرین فیزیولوژیکی بر روی مردان و زنان در گروه‌های سنی مختلف در شرایط آب‌وهوایی و شدت فعالیت مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت (۲۱، ۲۲). سپس این شاخص به صورت شاخص استرین فیزیولوژیکی نیز بر پایه ضربان قلب (PSI_{HR}) مطرح گردید و در مواقعی که اندازه‌گیری دمای عمقی ممکن نباشد، می تواند بار سیستم قلبی-عروقی ناشی از گرما را نشان دهد. مقادیر شاخص استرین فیزیولوژیکی بر پایه ضربان قلب دارای مقیاس عددی بین صفر و ۵ است که مقدار صفر آن نشانه عدم وجود استرین و مقدار ۵ آن بیان‌گر حداکثر استرین می باشد (۲۳).

استراحت (برای صرف ناهار و نماز) می‌کردند و از ساعت ۱۳ الی ۱۶ دوباره مشغول به کار بودند، به‌جز واحد آتش‌باری که ساعت کاری کم‌تری داشتند (معمولاً ۸:۳۰ الی ۱۳). در روز پیش از اندازه‌گیری، هدف از انجام مطالعه و رعایت نکاتی مانند استراحت کافی در شب به افراد یادآوری شد. در هر روز اندازه‌گیری با توجه به شرایط کاری هر واحد و با هماهنگی قبلی تعدادی از افراد انجام شد. حین اندازه‌گیری سعی گردید افراد در شرایط یکسانی مورد پایش قرار بگیرند و با در نظر گرفتن مدت همکاری کارکنان، زمان کل اندازه‌گیری برای هر نفر به مدت ۲ ساعت در نظر گرفته شد.

جمع‌آوری اطلاعات دموگرافیک کارگران پرسش‌نامه‌ای در ارتباط با مشخصات فردی مورد نیاز طراحی گردید و با پرسش از افرادی که در تماس با گرما بودند تکمیل گردید. با توجه به معیارهای ورود به مطالعه، افراد وارد مرحله بعد می‌شدند. میزان فعالیت کارگران بر اساس ISO 8996 و میزان کلوی لباس بر اساس ISO 9920 برآورد گردید.

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیکی پارامترهای فیزیولوژیکی در دو مرحله در واحدهای کاری تحت مطالعه و طبق استاندارد ISO 9886-2001 اندازه‌گیری شدند. در واحدهای کاری به‌جز آتش‌باری، اتاق استراحت و یا کانکسی در نزدیکی جبهه کار به منظور استراحت (نهار و نماز) افراد در نظر گرفته شد. در مرحله اول، پس از قرار گرفتن ۳۰ دقیقه در اتاق استراحت، در زمان‌های ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه پارامترهای

معدن سنگ آهن از محیط‌های کاری است که شاغلین واحدها در محیط‌های روباز و در معرض مستقیم اشعه خورشید مشغول به کار می‌باشند. با توجه به اهمیت گرما و هم‌چنین انجام مطالعات محدود در این رابطه بر روی شاغلین معدن، این پژوهش با هدف ارزیابی استرس گرمایی در مشاغل معدن روباز سنگ آهن بر اساس شاخص دمای ترگویسان و بررسی ارتباط آن با شاخص‌های استرس فیزیولوژیکی انجام گرفت.

روش کار

این مطالعه توصیفی تحلیلی در تابستان ۱۳۹۳ در واحدهای مختلف کاری یک معدن سنگ آهن در شرق کشور واقع در خراسان رضوی انجام شد. طبق فرمول تعیین حجم نمونه براساس ضریب هم‌بستگی (فرمول ۱)، تعداد ۱۲۰ نفر نمونه مرد در مطالعه شرکت داده شدند.

$$N = \left(\frac{Z_{\alpha} + Z_{\beta}}{C(r)} \right)^2 + 3 = 120 \quad (1)$$

در برآورد حجم نمونه $\alpha =$ خطای نوع اول با مقدار ۰/۰۵، $\beta =$ (توان آزمون) خطای نوع دوم با مقدار ۱۰٪ و $r =$ ضریب هم‌بستگی با مقدار ۰/۴۵ در فرمول وارد گردید. معیارهای ورود افراد به مطالعه شامل نداشتن بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های تیروئید، فشار خون، دیابت، بیماری‌های تب‌دار و عفونت گوش، عدم پرکاری تیروئید، عدم مصرف داروهای آنتی‌دیورتیک و هم‌چنین عدم مصرف داروهای موثر بر ضربان قلب بود که ورود افراد به مطالعه به صورت داوطلبانه صورت گرفت. ساعت کاری افراد مورد بررسی بدین صورت بود که از ساعت ۷ صبح در واحدها مشغول به کار می‌شدند، ساعت ۱۲ تا ۱۳

کاری و : میزان متوسط متابولیسم در شیفیت کار بر حسب W/m^2 .

اندازه‌گیری متغیرهای محیطی

در هر واحد کاری یک ایستگاه اندازه‌گیری در نزدیکی جبهه کاری افراد انتخاب شد و هم‌زمان با سنجش پارامترهای فیزیولوژیکی متغیرهای محیطی نیز در حالت استراحت و کار اندازه‌گیری و ثبت شدند. علاوه بر این برای محاسبه متوسط زمانی هشت ساعته شاخص WBGT و به منظور مقایسه با استاندارد، اندازه‌گیری متغیرهای محیطی در ۴ مرحله صورت گرفت (۸-۱۰، ۱۰-۱۲، ۱۲-۱۳-۱۴، ۱۴-۱۶). برای اندازه‌گیری متغیرهای محیطی از دستگاه WBGT متر دیجیتال مدل Casella، رطوبت سنج چرخان مدل Casella و برای سنجش سرعت جریان هوا از دماسنج کاتای نقره اندود مدل N240 Casella London با عامل کاتای ۴۲۰ و ردیف سردشوندگی ۵۲-۵۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد که برای اندازه‌گیری سرعت جریان هوا در محیط‌های گرم مناسب است. مطابق با استاندارد ISO7243، از آن‌جایی که محیط‌های کاری کارگران بر اساس پیش‌آزمون از لحاظ دمایی متجانس بود، اندازه‌گیری‌ها فقط در ناحیه کمر کارگران (۱/۱ متر) انجام شد.

محاسبه شاخص‌های گرمایی

شاخص WBGT بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد و با توجه به آن که کارگران در هنگام کار از لباس کار معمولی و لباس یک‌سره استفاده می‌کردند، ضریب تصحیح معادل ۰/۶ کلو برای لباس کار معمولی و نیز ضریب تصحیح معادل ۱ کلو برای لباس کار یک‌سره، پس از برآورد شاخص

فیزیولوژیکی شامل دمای عمقی (بر اساس دمای پرده صماخ) و ضربان قلب اندازه‌گیری گردید و میانگین آن‌ها به عنوان اطلاعات پایه ثبت شد. در مرحله دوم پس از پایان اندازه‌گیری‌ها در حالت استراحت، از فرد خواسته شد که به محل کار خود برگردد و کار خود را شروع نماید. در واحد کاری مانند آتش‌باری که محل کار فرد از اتاق استراحت فاصله داشت، انتقال افراد با خودرو صورت گرفت. پس از شروع به کار، پارامترهای فیزیولوژیکی دمای عمقی و ضربان قلب در زمان‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها ثبت گردید (۲۴). در طی انجام فعالیت، فرد به مدت ۱ ساعت مورد پایش قرار گرفت. برای اندازه‌گیری دمای پرده صماخ گوش راست افراد از ترمومتر دیجیتالی مدل FT70 (beurer) ساخت کشور آلمان استفاده شد. دقت این دستگاه معادل $\pm 0/2$ درجه سانتی‌گراد و دامنه اندازه‌گیری آن ۳۴ تا ۴۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ضربان قلب و فشار خون افراد با استفاده از دستگاه فشارسنج دیجیتال Emsig مدل BO26 ساخت کشور تایوان مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. این دستگاه با استفاده از یک کاف تحت فشار بر روی بازوی شخص بسته شد و توانست همراه فشار خون، تعداد ضربان قلب افراد را نیز اندازه‌گیری نماید. میزان متابولیسم افراد نیز در طول شیفیت کاری به وسیله جدول استاندارد ISO8996 تعیین گردید. سپس با استفاده از معادله (۲) میانگین متابولیسم کاری در طول شیفیت کاری برای هر یک از آن‌ها محاسبه گردید.

$$\bar{M} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n M_i \times T_i \quad (2)$$

M_i : میزان متابولیسم هر فعالیت، T_i : زمان انجام هر فعالیت مختلف، T : مدت زمان کار در یک شیفیت

WBGT اعمال گردید.

$$WBGT = 0.7 \times t_{nw} + 0.2 \times t_g + 0.1 \times t_a \quad (3)$$

برای محاسبه متوسط زمانی شاخص WBGT

از رابطه (۴) استفاده شد.

$$WBGT - TWA = \frac{(WBGT_1 \times T_1) + (WBGT_2 \times T_2) + \dots + (WBGT_n \times T_n)}{T_1 + T_2 + \dots + T_n} \quad (4)$$

WBGT_n: شاخص دمای ترگویسان در ساعات

مختلف شیفت کاری (°C)

T_n: مدت زمان مواجهه (۸ ساعت)

و برای محاسبه شاخص های PSI و PSI_{HR} به

ترتیب از روابط (۵) و (۶) استفاده گردید.

$$PSI = (5 \times (T_{ri} - T_{r0}) / ((39.5 - T_{r0})) + (5 \times (HR_i - HR_o) / (180 - HR_o)) \quad (5)$$

$$PSI_{HR} = (5 \times (HR_i - HR_o) / (180 - HR_o)) \quad (6)$$

در معادلات فوق T_{ri} و T_{r0}، نمایان گر دمای

عمقی بدن (°C) و HR_i و HR_o، نمایان گر تعداد

ضربان قلب (Beats/min) به ترتیب در حالت

استراحت و کار می باشند. پس از محاسبه

شاخص های گرمایی، داده ها با استفاده از نرم

افزار SPSS 22 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت

و از روش های آماری توصیفی، T-test، ضریب

همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی استفاده

گردید.

یافته ها

این مطالعه بر روی ۱۲۰ نفر در واحدهای

مختلف کاری معدن انجام گرفت. تعداد ۱۵ نفر

از واحد حمل و نقل، ۱۰ نفر از واحد آتشباری،

۳۸ نفر از واحد کراشر و کارخانه، ۳۵ نفر از واحد

سنگ شکن و ۲۲ نفر از واحد حفاری در مطالعه

شرکت کردند. میانگین و انحراف معیار مشخصات

دموگرافیکی افراد شامل سن ۷/۷۹ ± ۳۳/۹۲ سال،

سابقه کار ۵/۹ ± ۶/۸ سال و نمایه توده بدنی

افراد ۳/۵۹ ± ۲۴/۹۳ کیلوگرم بر متر مربع بود.

همچنین میانگین میزان متابولیسم کاری افراد

۱۶۵/۹ وات بر متر مربع با دامنه ۱۰۱-۲۴۵ وات

بر متر مربع بود. از طرفی فعالیت افراد در محدوده

بار کاری متوسط قرار داشت و حدود ۴۸% آنان از

لباس سبک تابستانی و ۵۲% از لباس کار یک سره

استفاده می کردند.

میانگین و انحراف معیار پارامترهای فیزیولوژیکی

و میزان متابولیسم افراد مورد مطالعه به تفکیک واحد

کاری در جدول ۱ نشان داده شده است. بیشترین

مقدار دمای عمقی و ضربان قلب مربوط به واحد

کاری حفاری بود. میانگین کل دمای عمقی ۳۷/۵ °C

و ضربان قلب ۸۷/۵ beat/min به دست آمد. بالاترین

میزان متابولیسم مربوط به واحدهای کاری حفاری و

آتشباری به ترتیب ۲۴۰/۹ W/m² و ۲۴۰/۲۵ W/m²

برآورده شد.

در جدول ۲ مقادیر متغیرهای محیطی به

تفکیک واحدهای کاری ارایه شده است. بیشترین

مقدار دمای خشک و دمای گویسان مربوط به

واحد کاری حفاری، بیشترین مقدار دمای تر و

رطوبت نسبی مربوط به واحد کاری آتشباری و

بیشترین مقدار سرعت جریان هوا مربوط به واحد

کاری حمل و نقل بود. میانگین متغیرهای محیطی

در واحدهای کاری بر اساس آزمون آماری T-test

اختلاف معناداری با یکدیگر نداشتند (P<0.05).

مقادیر محاسبه شده شاخص استرین

فیزیولوژیکی به تفکیک در واحدهای کاری در

جدول ۳ ارایه گردیده است. بیشترین مقدار

مربوط به شاخص PSI و PSI_{HR} به ترتیب مربوط به

واحدهای کاری حفاری و آتشباری بود و میانگین کل سطح استرین شاخص‌های PSI و PSI_{HR} به ترتیب ۲/۵۳ و ۰/۶ به دست آمد. میانگین شاخص‌های استرین فیزیولوژیکی در واحدهای کاری بر اساس آزمون آماری T-test اختلاف معناداری با یکدیگر نداشتند ($P < 0.05$). با توجه به پیش‌آزمون انجام شده و متجانس بودن شرایط دمایی، اندازه‌گیری‌ها فقط در ناحیه

کمر انجام شد که میانگین وزنی زمانی محاسبه شده شاخص دمای ترگویسان در طول شیفت‌های کاری در جدول ۴ ارائه شده است. بیش‌ترین استرس گرمایی مربوط به واحد حفاری با میانگین $31/6^{\circ}C$ و میانگین کل شاخص دمای ترگویسان برابر $29/9^{\circ}C$ به دست آمد. نتایج آمار توصیفی نشان داد میانگین شاخص دمای ترگویسان در مقایسه با استاندارد در تمام واحدهای کاری با

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار پارامترهای فیزیولوژیکی و متابولیسم کاری افراد در واحدهای مختلف معدن

متابولیسم (W/m ²)	ضربان قلب (beat/min)	دمای عمقی (°C)	پارامتر واحد کاری
۲۴۰/۹±۱۲/۵۹	۹۲/۴۵±۷/۷	۳۷/۹۸±۰/۵۴	حفاری
۲۴۰/۵±۳۵/۳	۹۰/۲±۹/۷	۳۷/۴±۰/۳۸	آتشباری
۱۳۰/۲±۱۴/۵	۸۳/۰۷±۵/۴	۳۷/۰۶±۰/۳۶	حمل و نقل
۱۶۵/۶±۳۵/۵	۹۰/۵±۹/۳	۳۷/۷±۰/۴۷	سنگ‌شکن
۱۱۳/۵±۲۹/۶	۸۲/۸±۸/۸	۳۷/۳±۰/۵۶	کراشر و کارخانه
۱۶۵/۹±۴۰/۰۵	۸۷/۴۸±۹/۴	۳۷/۵۴±۰/۵۶	کل

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار متغیرهای محیطی ثبت شده در واحدهای مختلف کاری معدن

سرعت هوا $v_a(m.s^{-1})$	رطوبت نسبی RH(%)	دمای گویسان $t_g(^{\circ}C)$	دمای تر طبیعی $t_{nw}(^{\circ}C)$	دمای خشک $t_a(^{\circ}C)$	متغیر واحد کاری
۵/۳۴±۳/۰۸	۱۶/۵±۵/۱۵	۵۵/۴۶±۱/۷	۲۱/۹۵±۰/۷۵	۴۱/۴۴±۲/۵۶	حفاری
۷/۶۷±۲/۸	۲۹/۸±۱/۷۳	۵۴/۱±۰/۵۶	۲۲/۴±۰/۳۲	۳۵/۹۷±۰/۵۷	آتشباری
۸/۰۶±۲/۸۲	۲۹/۳±۳/۲۳	۵۲/۵±۱/۶۹	۲۱/۷±۰/۴۵	۳۵/۲۵±۰/۹	حمل و نقل
۷/۱۲±۳/۶	۱۹/۸۷±۲/۸۹	۵۳/۲±۲/۶۵	۲۱/۷۸±۰/۴۳	۳۹/۲۶±۱/۰۸	سنگ‌شکن
۶/۲۴±۲/۹	۲۱/۸۲±۶/۳۶	۵۳/۸±۲/۹۳	۲۰/۹۴±۱	۳۸±۳/۳۲	کراشر و کارخانه
۶/۶۷±۳/۲۳	۲۱/۸۸±۶/۳۲	۵۳/۸±۲/۵۲	۲۱/۵۹±۰/۸۵	۳۸/۴۹±۲/۹۶	کل

جدول ۳. میانگین شاخص استرین فیزیولوژیکی محاسبه شده در واحدهای مختلف کاری

کل	کراشر و کارخانه	سنگ شکن	حمل و نقل	آتشباری	حفاری	واحد کاری شاخص
۲/۵۳±۱/۰۹	۱/۹۳±۱/۰۶	۳/۰۳±۰/۹۲	۱/۸۳±۰/۶۱	۲/۶۲±۰/۵۸	۳/۲±۱/۰۳	PSI
۰/۶±۰/۳۵	۰/۴۳±۰/۲۸	۰/۷۳±۰/۳۸	۰/۴۲±۰/۲۷	۰/۸۲±۰/۳۶	۰/۷۴±۰/۳۲	PSI_{HR}

جدول ۴. میانگین وزنی زمانی محاسبه شده شاخص WBGT در واحدهای مختلف کاری

کراشر و کارخانه	سنگ شکن	حمل و نقل	آتشباری	حفاری	شاخص آماری	واحد کاری شاخص
۲۹/۰۵±۱/۳۳	۳۰/۸±۱/۳۲	۲۹/۰۹±۱/۱۴	۳۱/۰۹±۰/۷۵	۳۱/۶۴±۰/۸	Mean±SD	WBGT-TWA(°C)
۲۷/۵	۲۷/۵	۲۷/۵	۲۹/۵	۲۷/۵	Mean	حدود مجاز (TLV)

جدول ۵. هم‌بستگی پیرسون بین شاخص‌های گرمایی

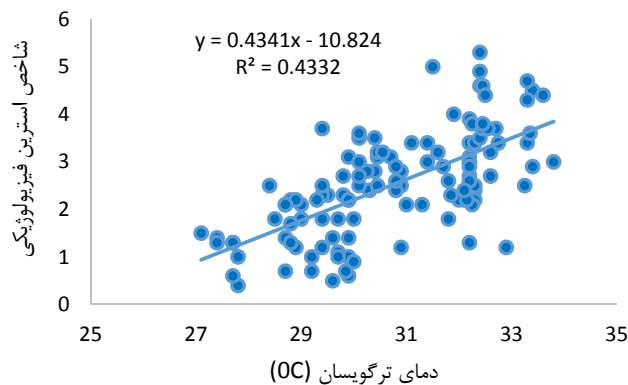
شاخص	متغیرهای آماری	PSI	PSI _{HR}
WBGT	هم‌بستگی (r)	۰/۶۵۸	۰/۵۶۶
	P-Value	۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱

گرفت که شکل ۱ و ۲ به ترتیب نمودار پراکنش و خط رگرسیون بین شاخص WBGT با PSI و PSI_{HR} را نشان می‌دهد.

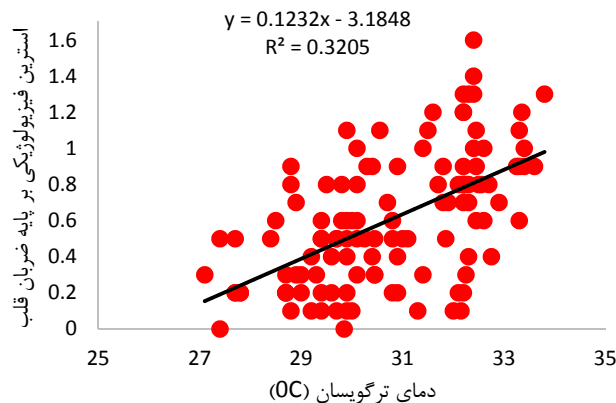
بحث

بسیاری از معادن کشور به‌صورت سطحی بوده و شاغلین این حرفه در محیط‌های روباز مشغول فعالیتند. معادن سنگ آهن از جمله محیط‌های کاری هستند که کارگران آن هم به دلیل شرایط کاری و هم به دلیل مواجهه با تابش مستقیم خورشید در معرض استرس گرمایی می‌باشند. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که میزان استرس گرمایی در کارگاه‌های روباز در

توجه به میزان متابولیسم کاری و ضریب کلوی لباس، از حدود مجاز توصیه شده بیش‌تر می‌باشد. آزمون هم‌بستگی پیرسون نشان داد که بین شاخص دمای ترگویسان با شاخص استرین فیزیولوژیکی و شاخص استرین فیزیولوژیکی بر پایه ضربان قلب، رابطه خطی مستقیم و معنی‌داری وجود دارد و مقدار R برای شاخص PSI و PSI_{HR} به ترتیب برابر ۰/۶۵۸ و ۰/۵۶۶ به دست آمد (جدول ۵). آزمون رگرسیون خطی نیز مورد بررسی قرار



شکل ۱. نمودار پراکنش داده بین شاخص WBGT و شاخص PSI



شکل ۲: نمودار پراکنش داده بین شاخص WBGT و شاخص PSIHR

ترگویسان در مقایسه با میزان استاندارد ISO7243 در تمام کارگاه‌های اندازه‌گیری شده بیش‌تر از حد مجاز می‌باشد (۱). نتایج مطالعات قبلی انجام شده در فضاهای کاری روباز با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

نتایج مطالعه دهقان و همکاران نشان داد که کاربرد توام شاخص دمای ترگویسان و استرین فیزیولوژیکی بر پایه ضریب قلب ابزار مفیدی برای برآورد بهتر استرین گرمایی در شرایط آب و هوایی گرم می‌باشد و پیشنهاد گردید مطالعات وسیع‌تری در شرایط آب و هوایی دیگر انجام گیرد (۲۴) و در صورتی که بتوان به طور هم‌زمان پاسخ‌های فیزیولوژیکی افراد به شرایط گرمایی محیط را اندازه‌گیری کرد اهمیت بالایی خواهد داشت.

به منظور بررسی دمای عمقی بدن، از پارامتر فیزیولوژیکی دمای پرده صماخ استفاده گردید که نسبت به دیگر دماهای عمقی غیر تهاجمی بوده و خللی در کار کارگر ایجاد نمی‌کند و می‌تواند به عنوان یک شاخص کاربردی‌تر نسبت به دیگر دماهای عمقی برای اندازه‌گیری واکنش فیزیولوژیکی در محیط کاری گرم مورد استفاده قرار گیرد (۲۷). ضریب قلب میزان استرس وارده بر بدن را نشان می‌دهد که می‌تواند مربوط به تعدادی از عوامل شامل فعالیت، استرین گرمایی و واکنش‌های روانی باشد. ضریب قلب یک نشان‌گر اولیه برای تنش فیزیولوژیک بوده و در هنگام کار و استراحت می‌تواند شدت استرین فیزیولوژیکی را نشان دهد (۲۸). در این مطالعه افراد شاغل در واحد کاری حفاری نسبت به دیگر واحدها میانگین دمای عمقی و ضریب قلب بیش‌تری از خود نشان دادند. اثر ترکیبی مواجهه با گرمای

مقایسه با فضاهای سرپوشیده کاری بیش‌تر می‌باشد (۲۵) و روباز بودن محیط و تابش‌های خورشیدی علل اصلی استرس گرمایی در کارگران می‌باشد (۱). در بسیاری از محیط‌های صنعتی و معدنی برای ارزیابی استرس گرمایی از شاخص دمای ترگویسان استفاده می‌شود (۲). در این مطالعه برای ارزیابی استرس گرمایی از شاخص دمای ترگویسان استفاده شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افراد در طول شیفت کاری شرایط استرس گرمایی بالایی را تجربه می‌کنند که نتایج مطالعات گذشته را تایید می‌کند (۲۶). علاوه بر آن، به دلیل ماهیت کار و حجم کاری زیاد کارگر در چنین محیط‌های کاری در فصول گرم سال، افراد شرایط استرس گرمایی بالاتری را تحمل کنند.

بر اساس نتایج به‌دست آمده کارگران شاغل در واحد حفاری استرس گرمایی بیش‌تری تجربه می‌کنند. کار در فضای باز و ارتفاع بالا می‌تواند علل اصلی دریافت انرژی گرمایی ناشی از تابش‌های خورشیدی باشد که افراد نسبت به سایر واحدها در طول شیفت کاری با آن مواجه هستند.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در تمامی واحدهای کاری، میانگین شاخص دمای ترگویسان در مقایسه با استاندارد با توجه به میزان متابولیسم کاری و ضریب کلوی لباس، از حدود مجاز توصیه شده بیش‌تر می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط گل‌بابایی و همکاران در سال ۹۳ انجام گرفت، میانگین شاخص دمای ترگویسان برای مشاغل روباز بیش‌تر از حد مجاز بود (۲۶). از طرفی نتایج مطالعه حاجی‌زاده و همکاران (۹۲) در شاغلین کارگاه‌های آجرپزی نشان داد که میزان دمای

در مطالعه حاضر برای بررسی میزان استرین افراد از شاخص استرین فیزیولوژیکی و شاخص استرین فیزیولوژیکی بر پایه ضربان قلب استفاده شد. شاخص استرین فیزیولوژیکی نشان دهنده استرین ترکیبی ناشی از سیستم تنظیم حرارت و قلب و عروق است و شاخص استرین فیزیولوژیکی بر پایه ضربان قلب نشان دهنده بار سیستم قلبی-عروقی ناشی از گرما می باشد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بین شاخص دمای ترگویسان با شاخص های استرین فیزیولوژیکی ارتباط معنی داری وجود دارد و میزان همبستگی بین شاخص WBGT با PSI نسبت به شاخص PSI_{HR} بیش تر بود. در مطالعه ای که Moran و همکاران با هدف ارزیابی شاخص استرس محیطی (ESI) با استفاده از متغیرهای فیزیولوژیکی شامل دمای عمقی رکتال، ضربان قلب، میزان تعریق و شاخص استرین فیزیولوژیکی (PSI) در متابولیسم های مختلف و نیز لباس های متفاوت انجام دادند، ارتباط بالایی بین شاخص استرس محیطی و متغیرهای فیزیولوژیکی وجود داشت و در شرایطی که افراد لباس کار یک سره و بار کاری سنگینی داشتند، نسبت به شرایطی با متابولیسم کم تر و لباس نخی، استرین فیزیولوژیکی بیش تری نشان دادند و همبستگی بین شاخص استرس محیطی و متغیرهای فیزیولوژیکی با افزایش مقدار ESI افزایش یافت (۲۹). نتایج مطالعه حبیبی و همکاران نشان داد که بین شاخص دمای ترگویسان با شاخص استرین فیزیولوژیکی ارتباط مستقیم و معنی داری وجود دارد (۱۷) و هم چنین در مطالعه دیگری شاخص استرین فیزیولوژیکی نسبت به دیگر پارامترهای فیزیولوژیکی همبستگی بالاتری با شاخص دمای ترگویسان داشت (۳۲) که با مطالعه

محیطی و تولید گرمای متابولیک (داخلی) ناشی از فعالیت جسمانی می تواند باعث استرین گرمایی بیش تری در بدن شود. از سویی، لباس کار به عنوان یک عامل اثرگذار بر میزان استرین فیزیولوژیکی ناشی از گرما می باشد (۲۹). که در واحد حفاری، افراد فعالیت بدنی بیش تری داشتند و از لباس کار یک سره استفاده می کردند.

در مطالعه ی Kalkowsky و Kampmann (شرایط گرمایی WBGT حدود $29/1^{\circ}C$) ضربان قلب و دمای عمقی افراد معدنچی به طور مداوم پایش گردید، میانگین ضربان قلب و دمای عمقی (رکتال) در طول شیفت به ترتیب $102/8$ beats/min و $37/7^{\circ}C$ بود که در مقایسه با مطالعه حاضر در شرایط گرمایی کم تر، افراد میزان استرین فیزیولوژیکی بیش تری از خود نشان دادند که دلیل اصلی می تواند شرایط جسمانی افراد باشد که نسبت به مطالعه حاضر از شاخص توده بدنی بیش تری برخوردار بودند (۱۵). نتایج مطالعه دهقان و همکاران نشان داد که شدت تنش قلبی در کارگران دارای اضافه وزن در مقایسه با کارگران دارای وزن نرمال بالاتر بود (۳۰).

در مطالعه ی Brake و Bates مقادیر دمای عمقی بدن افراد شاغل در واحدهای صنعتی و معدنی در طول شیفت کاری افزایش یافت و در شرایط محیطی با WBGT ($31/09^{\circ}C$) مقدار دمای عمقی افراد، از حدود توصیه شده استاندارد ($38^{\circ}C$) بالاتر بود (۳۱). در مطالعه حاضر افراد با استرس گرمایی کم تری مواجه بودند و میانگین دمای عمقی کم تری نیز داشتند که نشان دهنده آن است که با افزایش میزان استرس گرمایی محیط کاری، دمای عمقی بدن می تواند متناسب با آن افزایش یابد.

که می‌تواند برای ارزیابی استرین گرمایی چنین محیط‌های کاری مناسب باشد. می‌توان نتیجه گرفت که شاغلین معدن روباز در مواجهه با استرس گرمایی بیش از حد قرار دارند و باید تدابیری برای کنترل استرس گرمایی جهت مراقبت از کارگران این بخش اتخاذ شود و همچنین انجام مطالعات بیش‌تر در این زمینه ضروری می‌باشد.

تشریح و قدردانی

از مدیریت محترم معدن سنگ آهن به خاطر حمایت‌های معنوی در طول تحقیق سپاس‌گزاری می‌شود.

REFERENCES

- Hajizadeh R, Golbabaie F, Monazam Esmailpour M, Mehri A, Hosseini M, Khodaparast I. Assessing the heat stress of brick-manufacturing units' workers based on WBGT index in Qom city. *Journal of Health and Safety at Work*. 2015;4(4):9-20.
- Xiang J, Peng B, Pisaniello D, Hansen A. Health impacts of workplace heat exposure: an epidemiological review. *Industrial health*. 2014;52(2):91.
- Lugo-Amador NM, Rothenhaus T, Moyer P. Heat-related illness. *Emergency medicine clinics of North America*. 2004;22(2):315-27.
- Tian Z, Zhu N, Zheng G, Wei H. Experimental study on physiological and psychological effects of heat acclimatization in extreme hot environments. *Building and Environment*. 2011;46(10):2033-41.
- Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Forushani AR, Gaeini A. Outdoor occupational environments and heat stress in IRAN. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2015;13(1):48.
- Epstein Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial health*. 2006;44(3):388-98.
- Yaglou C, Minaed D. Control of heat casualties at military training centers. *Arch Indust Health*. 1957;16(4):302-16.
- Parsons K. Heat stress standard ISO 7243 and its global application. *Industrial health*. 2006;44(3):368-79.
- Wenzel HG, Mehnert C, Schwarzenau P. Evaluation of tolerance limits for humans under heat stress and the problems involved. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 1989;15(suppl 1):7-14.
- Griefahn B. Acclimation to three different hot climates with equivalent wet bulb globe temperatures. *Ergonomics*. 1997;40(2):223-34.
- ISO 7243. Hot environments-estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva: International Organization for Standardization; 1989.
- ACGIH. TLVs and BEIs: Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. USA: ACGIH Signature Publications, Cincinnati, 2004.
- Sawka M, Wenger C, Montain S, Kolka M, Bettencourt B, Flinn S, et al. Heat stress control and heat casualty management. USA: US Army Research Institute of Environmental Medicine, 2003.
- Peiffer JJ, Abbiss CR. Thermal stress in North Western Australian iron ore mining staff. *Annals of occupational hygiene*. 2012;57(4):519-27.
- Kalkowsky B, Kampmann B. Physiological strain of miners at hot working places in German coal mines. *Industrial health*. 2006;44(3):465-73.
- Dehghan H, Habibi E, Yousefi H, Hasanzadeh A.

حاضر هم‌خوانی دارد. در مطالعه جعفری و همکاران شاخص استرین فیزیولوژیکی نسبت به شاخص دمایی تر گویسان و شاخص استرین فیزیولوژیکی بر پایه ضربان قلب، شاخص مناسب‌تری برای ارزیابی شرایط گرمایی در بین کارگران معرفی شد (۳۳). در سطح کشور مطالعات محدودی در زمینه برآورد استرس گرمایی بر روی شاغلین معدن انجام گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد میانگین شاخص دمایی تر گویسان در تمامی واحدها بیش‌تر از حد مجاز بود، همچنین شاخص دمایی تر گویسان ارتباط قابل قبولی با شاخص‌های استرین فیزیولوژیکی در محیط کاری معدن داشت

- Survey of the relationship of heat strain scoring index and wet bulb globe temperature index with physiological strain index among men in hot work Environments. *Health Syst Res.* 2012;7(6):1148-56.
17. Habibi P, Dehghan H, Rezaei S, Maghsoudi K. Relationship between physiological strain index and wet bulb globe temperature index in women in the climate chamber. *J Health Syst Res.* 2014;10(3):443-50.
 18. Budd GM. Wet-bulb globe temperature (WBGT)—its history and its limitations. *Journal of Science and Medicine in Sport.* 2008;11(1):20-32.
 19. Varley F. A study of heat stress exposures and interventions for mine rescue workers. *Transactions.* 2004;316:133-42.
 20. Moran DS, Shitzer A, Pandolf KB. A physiological strain index to evaluate heat stress. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology.* 1998;275(1):R129-R34.
 21. Moran DS, Montain SJ, Pandolf KB. Evaluation of different levels of hydration using a new physiological strain index. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology.* 1998;275(3):R854-R60.
 22. Moran DS, Shapiro Y, Laor A, Izraeli S, Pandolf KB. Can gender differences during exercise-heat stress be assessed by the physiological strain index? *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology.* 1999;276(6):R1798-R804.
 23. Moran DS, Heled Y, Pandolf KB, Gonzalez RR. Integration Between the Environmental Stress Index (ESI) and the Physiological Strain Index (PSI) as a Guideline for Training: Defense Technical Information Center; 2002.
 24. Dehghan H, Mortazavi S, Jafari M, Maracy M. Combined application of wet-bulb globe temperature and heart rate under hot climatic conditions: a guide to better estimation of the heat strain. *Feyz Journal of Kashan University of Medical Sciences.* 2012;16(2):112-20.
 25. hajizadeh R, beheshti MH, khodaparast I, Malakouti J, Rahimi H. Investigation heat stress in small enterprise in Qom city. *Journal of Health and Safety at Work.* 2014;3(4):59-68.
 26. Golbabaei F, Rostami Aghdam Shendi M, Monazzam M, Hosseini M. Investigation of heat stress based on WBGT index and its relationship with physiological parameters among outdoor workers of Shabestar city. *Journal of Health and Safety at Work.* 2015;5(2):71-80.
 27. Negahban A, Aliabadi M, Babayi Mesdaraghi Y, 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. *Journal of Occupational Health Engineering.* 2014;1(1):8-15.
 28. Lee J-Y, Nakao K, Takahashi N, Son S-Y, Bakri I, Tochiyara Y. Validity of Infrared Tympanic Temperature for the Evaluation of Heat Strain While Wearing Impermeable Protective Clothing in Hot Environments. *Industrial health.* 2011;49(6):714-25.
 29. Moran DS, Pandolf KB, Shapiro Y, Laor A, Heled Y, Gonzalez RR. Evaluation of the environmental stress index for physiological variables. *Journal of thermal biology.* 2003;28(1):43-9.
 30. Dehghan H, Mortazavi SB, Jafari MJ, Maracy MR. Comparison between cardiac strain of normal weight and overweight workers in hot and humid weather of the south of iran. *J Health Syst Res.* 2012;8(5):866-75.
 31. Brake DJ, Bates GP. Deep body core temperatures in industrial workers under thermal stress. *Journal of occupational and environmental medicine.* 2002;44(2):125-35.
 32. Habibi P, Rezaei S, Dehghan H, Maghsoudi K. The relationships between environmental and physiological heat stress indices in Muslim women under the controlled thermal conditions. *International Journal of Environmental Health Engineering.* 2015;4(1):1-6.
 33. Jafari MJ, Hoorfarasat G, Salehpour S, Khodakarim S, Haydarnezhad N. Comparison of Correlation between Wet Bulb Globe Temperature, Physiological Strain Index and Physiological Strain Index Based on Heart Rate with Heart Rate and Tympanic Temperature on Workers in a Glass Factory. *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention e-ISSN: 2383-1901 p-ISSN: 2345-2455.* 2014;2(1):55-64.

Heat stress in an open-pit iron ore mine and its relationship with physiological strain

Mohammad Javad Jafari¹, Hassan Assilian Mahabadi², Soheila Khodakarim³,
Gholam Heidar Teimori^{4*}

¹ Professor; Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

² Associate Professor; Department of Occupational Health Engineering, School of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Assistant Professor; Department of Epidemiology, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁴ M.Sc., School of Public Health, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran

Abstract

Introduction: Workers in open pit iron ore mines are exposed to heat stress which can cause health and safety problems. The purpose of this study was to evaluate heat stress among open-pit mine workers of iron ore based on Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) index and also to investigate its relationship with physiological Strain.

Material and Method: This cross-sectional study was conducted on 120 healthy miners, working in an open-pit mine, during summer season, in 2014. Physiological parameters, including core body temperatures and heart rate, were measured according to ISO 9886 standard and physiological strain indices, including Physiological Strain Index (PSI) and Physiological Strain Index based on Heart Rate (PSI_{HR}), were calculated using the equation. Environmental variables as well as physiological parameters were simultaneously measured and recorded during work shift. WBGT index was calculated according to ISO 7243 and using the equation. Statistical analysis was performed using the SPSS software version 22.

Result: The mean WBGT index was estimated 29.09°C for workers. “Drilling” and “factory and Krasher” units showed the highest and lowest WBGT index values of 31.06°C and 29.05°C, respectively. Workers occupational exposure to heat stress were higher than recommended thresholds based on WBGT index in all work units. A statistically significant correlation was found between WBGT index and physiological strain indices (P value<0.001). The Pearson’s correlation coefficients were obtained 0.658 and 0.566 respectively, between WBGT index and values of PSI and PSI_{HR}.

Conclusion: WBGT index showed a higher correlation with physiological strain Index; and level of heat stress in all work units of mine was higher than recommended thresholds. Thus, countermeasures should be adopted to control heat stress for the workers in this field.

Key words: Heat Stress, Iron Ore, Open-Pit Mine, Physiological Strain

* Corresponding Author Email: teimorigh1@gmail.com