

## بررسی عملکرد حرارتی سامانه‌های گرمایش تابشی سقفی و تاثیر آن بر سطح آسایش حرارتی کارگران در کارگاه‌های معمول صنعتی

محسن علی‌آبادی<sup>۱</sup> - قاسم حسام<sup>۲\*</sup> - رزاق رحیم پور<sup>۲</sup>

ghasem\_hesam@yahoo.com

### چکیده

**مقدمه:** آسایش حرارتی در محیط کار و زندگی به عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های انسان در نیم قرن گذشته بوده است. آسایش حرارتی شرایطی است که فرد از لحاظ ذهنی نسبت به شرایط جوی محیط خود احساس رضایت داشته باشد. یکی از سامانه‌های نسبتاً جدید برای ایجاد گرمایش در محیط‌های کاری، سامانه‌های گرمایش تابشی است. هدف از این پژوهش بررسی عملکرد حرارتی سامانه گرمایش تابشی سقفی و تاثیر آن بر سطح آسایش حرارتی کارگران می‌باشد.

**روش کار:** در مطالعه توصیفی تحلیلی حاضر، سامانه‌های گرمایش تابشی طراحی شده در دو کارگاه تعمیرات و نگهداری مرکز بهره‌برداری خطوط لوله گاز همدان مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا پارامترهای محیطی تاثیرگذار بر آسایش حرارتی در هر دو کارگاه، قبل و بعد از روشن شدن سیستم گرمایش تابشی سقفی، اندازه‌گیری و بر اساس آنها شاخص خنک‌کنندگی باد و شاخص‌های آسایش حرارتی، میانگین رای پیش‌بینی شده (PMV) و درصد افراد ناراضی (PPD) محاسبه گردید. با استفاده از پرسشنامه توزیع شده در بین ۲۲ نفر از کارگران شاغل در کارگاه‌های مورد مطالعه، شاخص PMV و PPD بر اساس احساس ذهنی کارگران از شرایط آسایش حرارتی تعیین گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد سامانه گرمایش تابشی سقفی در کارگاه شماره یک، شاخص خنک‌کنندگی باد را به میزان  $42/3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$  کاهش داده است که این مقدار تاثیر قابل ملاحظه‌ای در تغییر شرایط آسایش حرارتی محیط نداشته است. در کارگاه شماره دو، شاخص خنک‌کنندگی باد به میزان  $10/9/3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$  کاهش یافته است که در این وضعیت شرایط آسایش حرارتی از احساس محیط سرد به محیط مطلوب تغییر یافته است. شاخص PMV در کارگاه شماره یک بعد از روشن شدن سامانه نسبت به قبل  $0/37$  افزایش داشته است که این مقدار برابر افزایش  $17/24$  درصد رضایت افراد بود، در حالی که در کارگاه شماره دو، تغییر افزایشی شاخص PMV قبل و بعد از روشن شدن سامانه  $0/98$  بود که این مقدار برابر افزایش قابل ملاحظه  $31/6$  درصد رضایت افراد بود. بر این اساس درصد رضایت در کارگاه شماره دو نسبت به کارگاه شماره یک به میزان  $14/3$  بیشتر بوده است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به حجم بزرگ این نوع کارگاه‌های صنعتی، گرمایش موثر کارگاه از طریق مکانیسم‌های همرفتی بسیار مشکل و پرهزینه می‌باشد. نتایج تایید نمود در صورتی که سامانه‌های گرمایش تابشی در کارگاه‌های صنعتی بر اساس اصول علمی طراحی و به کار گرفته شوند می‌توانند در بهبود آسایش حرارتی به دلیل گرمایش سطوح مجاور از طریق تابش و کاهش در مصرف سوخت و هزینه بسیار اثربخش باشند.

**کلمات کلیدی:** سامانه گرمایش تابشی، آسایش حرارتی، شاخص PMV، شاخص PPD

۱- مربی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان

۲- کارشناس مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان

### مقدمه

آسایش حرارتی در محیط کار و زندگی به عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های انسان در نیم قرن گذشته محسوب گردیده است (Kumar *et al.*, 2009). آسایش حرارتی شرایطی است که فرد از لحاظ ذهنی نسبت به شرایط جوی محیط خود احساس رضایت داشته باشد. مطابق با تعریف انجمن مهندسين گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع ASHRAE آسایش حرارتی شرایط دمایی است که مورد قبول ۸۰ درصد از افراد نشسته و یا در حال انجام کار سبک می‌باشد. این شرایط دمایی برای فصل تابستان بین ۲۳ الی ۲۷ درجه سانتی‌گراد و برای فصل زمستان بین ۲۰ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد توصیه شده است (ASHRAE Standard 55, 2004). آسایش حرارتی می‌تواند تاثیر زیادی بر روی رضایت افراد و در نتیجه بهبود عملکرد و افزایش بهره‌وری در فعالیت‌های شغلی داشته باشد (Ismail *et al.*, 2010). شرایط حرارتی نامناسب محیط کار می‌تواند باعث اختلال در عملکرد فیزیکی و ذهنی و در نتیجه افزایش خطای انسانی و بروز حوادث گردد. بر اساس گزارش اداره آمار کار آمریکا در سال ۲۰۰۴، حدود ۱۴ میلیون کارگر در محیط‌های کاری مشغول به کار هستند که در بخش‌های وسیعی از آن‌ها عوارض ناشی از گرما و سرما گزارش شده است که یک نمونه از آن مرگ ۱۸ نفر به علت شرایط دمایی نامطلوب در یکی از این صنایع بود (Wan, 2006). شاخص‌هایی برای تعیین میزان آسایش حرارتی ارائه شده است که مهم‌ترین آنها میانگین رای پیش‌بینی شده (PMV) و درصد افراد ناراضی (PPD) هستند. شاخص PMV یک شاخص آسایش حرارتی بوده و نتیجه برآورد اثر ۶ عامل متابولیسم، نوع لباس، دمای محیط، سرعت جریان هوا، رطوبت

نسبی و میانگین دمای تابشی می‌باشد. مقیاس قضاوت این شاخص بین ۳- تا ۳+ قرار دارد. این شاخص توسط فانجر در سال ۱۹۷۰ میلادی ارائه شده است و مطلوب‌ترین شاخص آسایش حرارتی در محیط‌های با حرارت متوسط است. شاخص PPD نیز برای پیش‌بینی متوسط حرارت احساس شده توسط گروه وسیعی از افراد مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ قرار دارد. سازمان بین‌المللی استاندارد بر اساس ISO ۷۷۳۰ توصیه نموده است که درجه حرارت محیط کار به گونه‌ای تنظیم شود که مقدار PPD کمتر از ۱۰ درصد باشد. بدین ترتیب برای ۹۰ درصد افراد شرایط جوی محیط کار مطلوب خواهد بود. براین اساس میزان شاخص PMV می‌بایست بین ۰/۵- الی ۰/۵ قرار گیرد (ISO 7730, 2005). روش اندازه‌گیری ذهنی نیز روشی است که توسط استاندارد ISO ۱۰۵۵۱ معرفی شده و از طریق پرسشنامه استاندارد، آسایش حرارتی محاسبه می‌شود (ISO 10551, 1995).

نصراللهی و همکاران در خصوص میزان احساس آسایش حرارتی، درصد افراد ناراضی از کارکنان ادارات شهر تهران طی فصول سرد و گرم را حدود ۲۲ تا ۲۵ درصد گزارش کردند. همچنین در ۷۰ درصد محیط‌های مورد بررسی بین متوسط احساس آسایش حرارتی ذهنی (از طریق پرسشنامه) و میانگین به‌دست آمده از طریق اندازه‌گیری و محاسبه PMV ارتباط معناداری وجود داشت (Nasrollahi *et al.*, 2007). پورشقایقی و همکاران نیز در مطالعه‌ای گزارش کردند، مقدار PMV در بعضی از قسمت‌های بیمارستان کرمانشاه برای هر دو جنس مرد و زن در حد قابل قبول تعریف شده توسط استاندارد ISO نمی‌باشد. همچنین مشخص شد که اختلافات حرارتی در فصل زمستان برای

این حال، طراحی و نصب مناسب این سامانه تاثیر زیادی بر عملکرد گرمایشی آن دارد. ارتفاع نصب مناسب، تعداد گرمکن مورد نیاز و اندازه گرمکن‌ها از عوامل مهم در طراحی این سامانه‌ها برای دستیابی به ایجاد محیطی با دمای مطلوب می‌باشد (Ardehali *et al.*, 2004; Athienitis and Shou, 1991; Ghaddar *et al.*, 2006; Imanari *et al.*, 1999; Simmonds, 1996).

با توجه به خصوصیات ذکر شده برای سیستم‌های گرمایش تابشی از جنبه‌های اقتصادی، آسایشی (Yost *et al.*, 1995) و صرفه‌جویی در مصرف انرژی (Mirela Sanda, 2012) مطالعاتی که اطلاعات و داده‌های کمی در خصوص عملکرد آسایشی این سامانه‌ها در اختیار بگذارد، بسیار محدود می‌باشد. هدف از مطالعه حاضر بررسی عملکرد سامانه گرمایش تابشی سقفی و تاثیر آن بر سطح آسایش حرارتی کارگران در محیط‌های صنعتی در شهر همدان است.

### روش کار

مطالعه توصیفی تحلیلی حاضر در دو کارگاه صنعتی مرکز بهره برداری خطوط لوله گاز شهر همدان انجام گرفت. فعالیت‌هایی که در این کارگاه‌ها انجام می‌شود شامل جوشکاری، برشکاری و تعمیرات و نگهداری تجهیزات و تاسیسات می‌باشد. جهت گرمایش این کارگاه‌ها از سیستم گرمایش تابشی سقفی استفاده شده است که ارتفاع نصب این سامانه‌های گرمایش متفاوت می‌باشد. در کارگاه شماره یک به دلیل وجود جراثیم سقفی، گرمکن‌ها در ارتفاع ۸/۵ متری از سطح زمین و در کارگاه شماره دو، گرمکن‌ها در ارتفاع ۶ متری نصب شده‌اند.

نوبت صبح کار رخ می‌دهد و بدترین شرایط حرارتی در فصل تابستان در نوبت ظهرکار اتفاق می‌افتد (Pourshaghaghay and Omidvari, 2012). بیضایی و همکاران دقت مدل محاسباتی PMV ارایه شده توسط فانگر را برای پیش‌بینی احساس حرارتی افراد ساکن در منازل و ادارات با سیستم تهویه طبیعی، کافی ندانستند (Beizaee *et al.*, 2012). اسماعیل و همکاران طی مطالعه‌ای بهترین شرایط آسایش حرارتی در صنعت خودروسازی کشور مالزی را در قسمت دریافت لاستیک با شاخص PMV بین ۱/۰۹ تا ۱/۴۱ و شاخص PPD برابر ۴۶ درصد و بدترین شرایط حرارتی در قسمت مونتاژ موتور و رنگ‌زنی با شاخص PMV بین ۲/۱ تا ۲/۹ و شاخص PPD برابر ۸۱ تا ۹۹ درصد گزارش کردند (Ismail *et al.*, 2010). در حال حاضر تحقیقات قابل توجهی بر روی سیستم‌های ایجادکننده شرایط آسایش حرارتی در محیط‌های سرد صورت گرفته است. یکی از سیستم‌هایی که اخیراً استفاده از آن در محیط‌های صنعتی در فصل سرما رو به افزایش است، سیستم گرمایش تابشی سقفی می‌باشد. سیستم گرمایش تابشی سقفی، سیستمی جایگزین برای گرمایش مرکزی می‌باشد که از دو طریق تابش و همرفت محیط را گرم می‌کند (Roth *et al.*, 2007). از جمله مزایایی که برای سیستم گرمایش تابشی سقفی اشاره شده است می‌توان کاهش مصرف سوخت، ایجاد شرایط حرارتی مطلوب، عدم جابه‌جایی هوا و جلوگیری از پخش غبار و آلودگی، کوتاه شدن زمان گرمایش و صرفه‌جویی زیاد در انرژی و زمان، امکان جهت‌دهی به مسیر گرمایش و تمرکز حرارتی بیشتر در فضای نزدیک به کف و سایر مکان‌های مورد نیاز، عدم نیاز به سیستم انتقال‌دهنده گرما از جمله لوله، کانال و سایر تاسیسات را ذکر نمود. با



شکل ۱: تصویری از گرمکن تابشی و موقعیت آن نسبت به جرثقیل سقفی در کارگاه شماره یک

استفاده گردید. برای سنجش سرعت جریان هوا از دماسنج کاتای نقره اندود استفاده شد. متابولیسیم افراد با توجه به نوع فعالیت و شغل آنها، توسط استاندارد ASHRAE 55-2004 محاسبه گردید. جهت محاسبه کلوی لباس نیز براساس نوع پوشش افراد از استاندارد ASHRAE 55-2004 استفاده شد (ASHRAE Standard 55, 2004). جهت تعیین آسایش حرارتی به روش عینی بر اساس مقادیر پارامترهای محیطی از طریق روابط ۱، ۲، ۳، و ۴ شاخص PMV و از طریق رابطه ۵ شاخص PPD محاسبه شد (ISO 7730, 2005).

$$PMV = \left[ 0.303 \times e^{(-0.036 \times M) + (0.028)} \right] \times \left\{ \begin{aligned} & \left[ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99 \times (M - W) - P_a] - \right. \\ & \left. 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} \times M \times (5867 - P_a) - \right. \\ & \left. 0.0014 \times M \times (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times \right. \\ & \left. \left[ (t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (1) \end{aligned} \right.$$

که در این رابطه PMV میانگین رای پیش بینی شده افراد بدون واحد، M میزان متابولیسیم بر حسب  $w/m^2$ ، W نیروی موثر مکانیکی بر حسب  $w/m^2$ ،  $p_a$  فشار نسبی بخار آب بر حسب پاسکال،  $t_a$  دمای هوای خشک بر حسب درجه سانتی‌گراد،

در این مطالعه جهت بررسی میزان تاثیر سیستم گرمایش تابشی سقفی بر آسایش حرارتی کارکنان، از روش‌های استاندارد توصیه شده سازمان ایزو به شماره ۷۷۳۰ و ۱۰۵۵۱ جهت تعیین میزان آسایش حرارتی بصورت عینی و ذهنی استفاده شد. جهت بررسی محیطی شرایط دمایی، محیط کار به ایستگاه‌هایی با ابعاد مشخص تقسیم‌بندی گردید و اندازه‌گیری‌ها در مرکز هر ایستگاه قبل و بعد از روشن شدن گرمکن‌ها انجام گرفت. تاریخ اندازه‌گیری شرایط دمایی، اواسط بهمن ماه بود که دمای هوای خارج حدود صفر درجه سانتی‌گراد را نشان می‌داد. اندازه‌گیری‌ها در هر کارگاه، در ۱۵ ایستگاه و در هر ایستگاه، در سه ارتفاع قبل و بعد از روشن شدن گرمکن‌ها انجام شد که در مجموع تعداد کل اندازه‌گیری برابر با ۱۸۰ نمونه بود.

پارامترهای قابل اندازه‌گیری شامل دمای هوا، میانگین دمای تابشی، رطوبت نسبی هوا، سرعت جریان هوا، متابولیسیم و کلوی لباس بود. با توجه به نامتجانس بودن محیط، اندازه‌گیری دمای خشک، دمای تر و دمای گویسان توسط دستگاه سنجش دیجیتال WBGT در سه ارتفاع قوزک پا، کمر و سر انجام شد. برای سنجش رطوبت نسبی هوا نیز از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتال

دمایی محیط مورد سوال قرار گرفت و براساس درجه‌بندی پرسشنامه، کارگران یکی از گزینه‌های داغ، گرم، کمی گرم، متعادل، کمی خنک، خنک و سرد را انتخاب کردند. سپس شاخص PMV و PPD بر اساس احساس دمایی کارگران محاسبه شد (ISO 10551, 1995).

همچنین در راستای بررسی آسایش حرارتی در محیط‌های مذکور میزان شاخص خنک‌کنندگی باد (WCI) مورد بررسی قرار گرفت. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های استرس سرمایی شاخص خنک‌کنندگی باد است که نشان دهنده میزان از دست دادن دمای بدن در محیط‌های سرد است و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Siple and Passel, 1945).

$$WCI = (33 - t_a) (10 V^{0.5} - V + 10.45)$$

که در رابطه WCI شاخص خنک‌کنندگی باد بر حسب  $Kcal/m^2.h$ ،  $t_a$  دمای خشک محیط بر حسب درجه سانتی‌گراد و  $V$  سرعت جریان هوا بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد.

### یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری پارامترهای محیطی در دو کارگاه مورد مطالعه قبل و بعد از روشن شدن سامانه‌های گرمایش در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میانگین دمای خشک و دمای تابشی با روشن شدن سامانه‌های گرمایش در کارگاه شماره ۱ به ترتیب از ۲/۲ و ۲ درجه سانتی‌گراد به ۴/۶ و ۵/۴ افزایش یافته است.

$f_{cl}$  فاکتور سطح مقطع لباس بدون واحد،  $t_{cl}$  دمای سطح لباس بر حسب درجه سانتی‌گراد،  $t_r$  میانگین دمای تابشی بر حسب درجه سانتی‌گراد و  $h_c$  ضریب انتقال حرارت از طریق همرفت بر حسب  $W/(m^2.K)$  می‌باشد.

در این رابطه  $t_{cl}$  از طریق رابطه ۲،  $h_c$  از طریق رابطه ۳ و  $f_{cl}$  از طریق رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 \times (M - W) - I_{cl} \times \left\{ 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \right.$$

$$\left. + f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (2)$$

که در این رابطه  $I_{cl}$  میزان عایق بودن لباس بر حسب  $m^2.k/w$  می‌باشد.

$$h_c = \begin{cases} 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{FOR } 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \sqrt{V_{ar}} \\ 12.1 - \sqrt{V_{ar}} & \text{FOR } 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \sqrt{V_{ar}} \end{cases} \quad (3)$$

که در این رابطه  $V_{ar}$  سرعت جریان نسبی هوا بر حسب  $m/s$  می‌باشد.

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} & \text{FOR } I_{cl} < 0.078 m^2.k / w \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} & \text{FOR } I_{cl} > 0.078 m^2.k / w \end{cases} \quad (4)$$

شاخص PPD نیز از طریق رابطه ۵ محاسبه شد که بر حسب درصد می‌باشد.

$$PPD = 100 - \left[ 95 \times e^{(-0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2)} \right] \quad (5)$$

نوع احساس حرارتی با توجه به شاخص PMV و PPD از طریق جدول ۱ مشخص شد.

جهت تعیین آسایش حرارتی به روش ذهنی با استفاده از روش پرسشنامه توزیع شده در بین ۲۲ نفر از کارگران شاغل، احساس کارگران از شرایط

جدول ۱: رابطه بین PDD، PMV و احساس حرارتی

نوع احساس	سرما	خنک تر	خنک	متعادل	گرم	گرم تر	داغ
مقدار PMV	-۳	-۲	-۱	۰	۱	۲	۳
مقدار PPD %	۱۰۰	۷۵	۲۵	۵	۲۵	۷۵	۱۰۰

جدول ۲: نتایج اندازه‌گیری پارامترهای محیطی قبل و بعد از روشن شدن سامانه‌های گرمایش در کارگاه شماره ۱

معیار	قبل از روشن شدن گرمکن‌ها				بعد از روشن شدن گرمکن‌ها			
	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
دمای تر ( $^{\circ}\text{C}$ )	۰/۴۶۶	۰/۱۰	۰/۸۰	۰/۲۳۲	۲/۸۶۶	۲/۱۰	۳/۸۰	۰/۵۶۹
دمای خشک ( $^{\circ}\text{C}$ )	۲/۲۶۶	۱/۷۰	۲/۷۰	۰/۳۵۶	۵/۴۰۶	۴/۶۰	۶/۲۰	۰/۵۶۱
دمای گوپسان ( $^{\circ}\text{C}$ )	۲/۰۹۳	۱/۶۰	۲/۵۰	۰/۳۰۶	۵/۹۱۳	۵/۴۰	۶/۴۰	۰/۳۴۸
رطوبت نسبی (%)	۶۵/۵۵	۵۸/۹۰	۷۰/۹۰	۳/۵۰۳	۶۰/۸۱	۵۶/۱۰	۷۰/۷۰	۴/۵۱۳
سرعت جریان هوا (m/s)	۰/۱۱۴	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۰۵	۰/۱۱۶	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۰۵
شاخص خنک‌کنندگی باد ( $\text{Kcal/m}^2\cdot\text{h}$ )	۴۲۱/۴	۴۱۷/۹	۴۲۴/۸	۲/۶۶۹	۳۷۹/۱	۳۷۲/۲	۳۸۷	۴/۶۰۴

جدول ۳: نتایج اندازه‌گیری پارامترهای محیطی قبل و بعد از روشن شدن سامانه‌های گرمایش در کارگاه شماره ۲

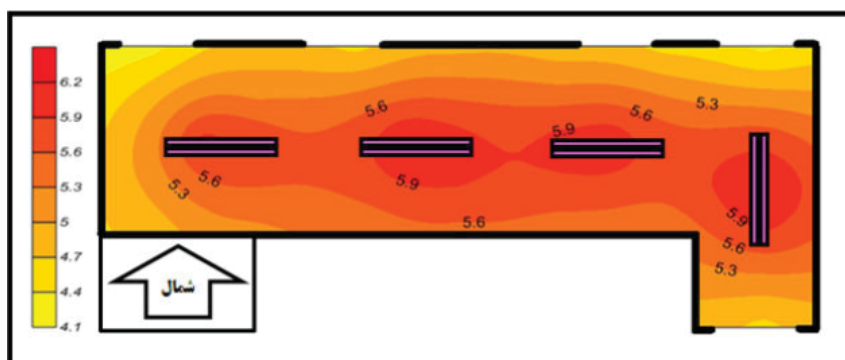
معیار	قبل از روشن شدن گرمکن‌ها				بعد از روشن شدن گرمکن‌ها			
	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
دمای تر ( $^{\circ}\text{C}$ )	۰/۵۲۰	۰/۲۰	۰/۹۰	۰/۲۱۱	۷/۴۸۶	۶/۳۰	۸/۶۰	۰/۸۳۴
دمای خشک ( $^{\circ}\text{C}$ )	۲/۳۶۶	۱/۸۰	۲/۹۰	۰/۳۹۵	۱۰/۸۳۳	۹/۰۰	۱۲/۲۰	۱/۱۵۶
دمای گوپسان ( $^{\circ}\text{C}$ )	۲/۱۸۶	۱/۷۰	۲/۷۰	۰/۳۶۲	۱۱/۹۵۳	۱۰/۷۰	۱۳/۶۰	۱/۰۲۶
رطوبت نسبی (%)	۶۴/۲۴	۵۶/۹۰	۷۰/۸۰	۵/۰۶۹	۶۰/۰۰	۵۶/۹۰	۶۴/۶۰	۲/۴۲۶
سرعت جریان هوا (m/s)	۰/۰۶۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۶۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۰۷
شاخص خنک‌کنندگی باد ( $\text{Kcal/m}^2\cdot\text{h}$ )	۳۹۵/۱	۳۹۰/۷	۳۹۸/۱	۲/۷۳۶	۲۸۵/۸	۲۷۰/۹	۳۰۲/۷	۸/۹۰۷

نحوه توزیع و انتشار شرایط دمایی در کارگاه‌های مورد مطالعه بر اساس دمای خشک مورد تحلیل قرار گرفت و نقشه حرارتی کارگاه‌ها با استفاده از نرم افزار Surfer ترسیم گردید که در شکل ۱ و ۲ ارایه شده است. تغییرات دمایی در فاصله نقاط زیر سامانه‌های گرمایش تا نقاط انتهایی و مجاور دیوارهای کارگاه شماره یک و دو در حدود ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد بود.

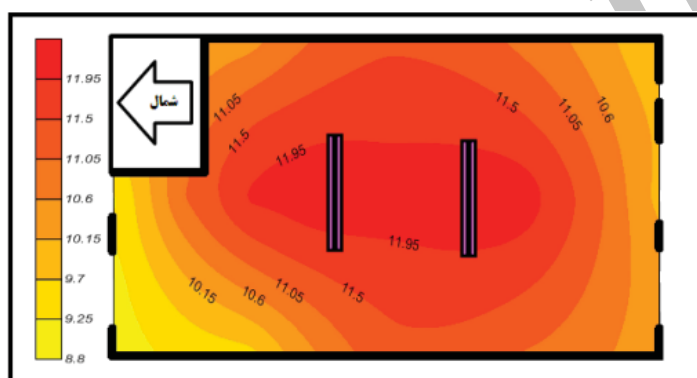
میزان متابولیسم بدن کارگران شاغل در این کارگاه‌ها با توجه به نوع کار آنها بر اساس استاندارد ASHRAE 55-2004،  $1.05 \text{ W/m}^2$  در نظر گرفته شده است. کلوی لباس نیز با توجه به پوشش زمستانه‌ای که افراد داشتند  $1.53$  محاسبه شده است. با توجه به پارامترهای فوق مقدار PMV

همچنین میانگین دمای خشک و دمای تابشی با روشن شدن سامانه‌های گرمایش در کارگاه شماره ۲ به ترتیب از  $2/3$  و  $2/2$  درجه سانتی‌گراد به  $10/8$  و  $11/9$  افزایش یافته است. طبق نتایج اندازه‌گیری‌ها، سیستم گرمایش تابشی سقفی در کارگاه شماره یک شاخص خنک‌کنندگی باد را به میزان  $42/3 \text{ Kcal/m}^2\cdot\text{h}$  کاهش داده است که می‌توان گفت تغییر قابل ملاحظه‌ای نبوده است و شرایط دمایی کارگاه در ناحیه سرد (Cool) باقی مانده است. با این حال در کارگاه شماره دو شاخص خنک‌کنندگی باد به میزان  $109 \text{ Kcal/m}^2\cdot\text{h}$  کاهش یافته که می‌توان گفت شرایط دمایی از وضعیت سرد (Cool) به وضعیت مطلوب (Pleasant) تغییر پیدا کرده است.

شکل ۲: نقشه حرارتی کارگاه شماره یک بر اساس دمای خشک برحسب درجه سانتی‌گراد



شکل ۳: نقشه حرارتی کارگاه شماره دو بر اساس دمای خشک برحسب درجه سانتی‌گراد



جدول ۴: نتایج شاخص‌های آسایش حرارتی عینی و ذهنی قبل و بعد از بکارگیری سامانه گرمایش تابشی

کارگاه شماره ۲		کارگاه شماره ۱		شاخص	
بعد	قبل	بعد	قبل		
-۰/۲۸	-۱/۲۶	-۰/۹۵	-۱/۳۲	PMV	روش عینی
۶/۶۳	۳۸/۲۳	۲۴/۰۶	۴۱/۳	PPD	
-۰/۲۱	-۱/۴۷۳	-۱/۰۸	-۱/۴۸۵	PMV	روش ذهنی
۵/۹۱	۴۹/۴۳	۲۹/۶	۵۰/۰۸	PPD	

به‌صورت عینی (با استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری) و ذهنی در جدول ۴ ارائه شده است. درصد افراد ناراضی در کارگاه شماره یک به میزان ۱۷/۲۴ درصد و در کارگاه شماره دو به میزان ۳۱/۶ درصد کاهش یافته است. لازم به ذکر است در خصوص قضاوت شاخص PMV، هرچه عدد PMV به سمت ۳+ افزایش یابد نشان دهنده احساس

و PDD برای هر دو کارگاه قبل و بعد از روشن شدن سیستم گرمایش تابشی سقفی محاسبه شد. پرسشنامه‌های ارزیابی آسایش حرارتی نیز به‌صورت سرشماری بین تمام افراد شاغل در کارگاه‌ها قبل و بعد از روشن شدن گرمکن‌ها توزیع شد و شاخص‌های آسایش حرارتی محاسبه گردید. نتایج ارزیابی شاخص‌های آسایش حرارتی

حرارتی گرمتر و هرچه به سمت ۳- کاهش یابد نشان دهنده احساس حرارتی سردتر و عدد صفر نشان دهنده احساس حرارتی معتدل می‌باشد.

### بحث

نتایج حاصل از مقایسه ارزیابی عینی و ذهنی آسایش حرارتی در کارگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که مقادیر شاخص‌های آسایش حرارتی حاصل از روش ذهنی با استفاده از پرسشنامه بعد از روشن شدن سامانه گرمایش با مقادیر حاصل از روش عینی تعیین شاخص‌های آسایش حرارتی توافق قابل قبولی داشته است در حالی که قبل از روشن شدن گرمکن‌ها نتایج پرسشنامه حدود ۱۰ درصد با نتایج حاصل از روش عینی اختلاف داشت. این تفاوت می‌تواند ناشی از تاثیر میزان متابولیسم کارکنان بر احساس حرارتی آنها در زمان تکمیل پرسشنامه باشد. کارکنان پرسشنامه‌ی قبل از روشن شدن گرمکن‌ها را زمانی تکمیل کردند که در ابتدای فعالیت کاری بودند ولی پرسشنامه دوم را زمانی تکمیل نمودند که مدت زمان زیادی از کار گذشته بود و با حداکثر توان مورد نیاز فعالیت داشتند. یافته‌های حاضر در این مطالعه، مشابه یافته‌های ایوانسکو و همکاران در مطالعه ارزیابی آسایش حرارتی انسان در داخل فضای اتومبیل بود. در این مطالعه که منبع گرمازا، تابش خورشید بود و تا حدودی مشابه سامانه گرمایش تابشی عمل می‌کند، اختلاف بین آسایش حرارتی عینی و ذهنی در موقعیت‌های زمانی مختلف حدود ۱۰ درصد بود (Ivanescu et al., 2010). پتراس و همکاران نیز در مطالعه‌ای که بر روی گرمکن‌های مادون قرمز انجام دادند، انتشار امواج گرما از گرمکن‌های مادون قرمز را

بسیار مشابه تابش خورشید معرفی کردند که تا ۳۰ درصد از این اشعه مادون قرمز موج کوتاه به پوست نفوذ می‌کند و توسط بدن جذب می‌شود و باعث احساس آسایش در افراد می‌شود (Petráš and Kalús, 2001).

لازم به ذکر است میزان مواجهه با امواج مادون قرمز در محدوده طیف نزدیک طی مطالعه پایلوتی در کارگاه‌ها بررسی شد که میزان آن در سطح کف کارگاه حدوداً برابر با ۰/۰۲ میلی‌وات بر سانتی‌متر مربع بود که در مقایسه با حد مجاز مواجهه شغلی کشوری برابر با ۱۰ میلی‌وات بر سانتی‌متر مربع برای مواجهه چشم قابل ملاحظه نبوده است.

طبق نتایج اندازه‌گیری‌ها، سیستم گرمایش تابشی سقفی در کارگاه شماره یک میزان شاخص خنک‌کنندگی باد را به‌طور قابل ملاحظه کاهش نداده است ولی در کارگاه شماره دو شاخص خنک‌کنندگی باد به‌طور قابل ملاحظه کاهش یافته است، به‌صورتی که شرایط دمایی از وضعیت سرد (Cool) به وضعیت مطلوب (Pleasant) تغییر یافته است. از علل کاهش عملکرد گرمکن‌ها در کارگاه شماره یک می‌توان به ارتفاع نصب گرمکن‌ها اشاره نمود که در کارگاه شماره یک به دلیل محدودیت جرثقیل سقفی ارتفاع نصب ۸/۵ متر بود. در این کارگاه‌ها گرمکن‌های تابشی مدل UT50 نصب شده‌اند که ۷/۶۲ متر طول و ۶۷ سانتی‌متر عرض دارند. ظرفیت حرارتی این گرمکن‌ها در شرایط ایده‌آل ۴۵۰۰۰ Kcal/hr می‌باشد. ارتفاع نصب پیشنهادی ایده‌آل این گرمکن‌ها ۵/۷ متر از کف کارگاه می‌باشد که تنها در کارگاه شماره دو این معیار طراحی رعایت شده است. بیشتر گرمایش این گرمکن‌ها از طریق تابش مادون قرمز بوده



باشد. در این کارگاه جرثقیل سقفی در ارتفاع ۸ متری نصب شده است و نصب گرمکن‌ها در ارتفاع کمتر از ۸ متر در وسط کارگاه امکان‌پذیر نیست. برای حل این مشکل پیشنهاد شده است از گرمکن‌های کوچکتر و به تعداد بیشتر استفاده شود. مساحت کارگاه شماره ۱ برابر ۵۸۰ متر مربع می‌باشد. براساس محاسبات بار حرارتی کارگاه مورد نظر، اتلاف حرارتی سالن به‌طور متوسط به ازای هر متر مربع  $250 \text{ Kcal/hr}$  (Beck et al., 2002) در نتیجه اتلاف حرارتی کل سالن  $145000 \text{ Kcal/hr}$  می‌باشد. اگر از گرمکن‌های مدل UT22 با ظرفیت حرارتی  $20000 \text{ Kcal/hr}$  استفاده گردد، تعداد گرمکن مورد نیاز ۸ عدد تعیین می‌گردد و می‌توان بر روی هر دیوار طولی ۴ عدد گرمکن را نصب کرد.

$$Q_T = Q_i \times A = 250 \text{ Kcal/hr.m}^2 \times 580 \text{ m}^2 = 145000 \text{ Kcal/hr}$$

$$N = Q_T / Q_{in} = 145000 \text{ Kcal/hr} / 20000 \text{ Kcal/hr} = 7.25 \approx 8$$

در روابط بالا  $Q_T$  اتلاف حرارتی کل سالن،  $Q_i$  اتلاف حرارتی به ازای هر متر مربع،  $A$  مساحت کارگاه،  $N$  تعداد گرمکن مورد نیاز سالن و  $Q_{in}$  ظرفیت حرارتی هر گرمکن می‌باشد.

طول و عرض این گرمکن‌ها به ترتیب  $5/24$  و  $0/49$  متر می‌باشد که  $63$  کیلوگرم وزن دارند و به راحتی می‌توان آنها را با زاویه به دیوار نصب کرد. حداقل ارتفاع نصب این گرمکن‌ها  $3$  متر می‌باشد. اما در کارگاه شماره ۲ در اثر استفاده از گرمکن‌ها میزان کاهش درصد افراد ناراضی برابر با  $31/6$  درصد می‌باشد که نشان می‌دهد گرمکن‌ها توانسته‌اند بیش از  $31$  درصد رضایت کارکنان را از آسایش حرارتی محیط افزایش دهند. درصد افراد ناراضی بعد از کاربری گرمکن‌ها برابر با  $6/63$  درصد است که از مقدار توصیه شده توسط استاندارد ایزو  $7730$  نیز کمتر می‌باشد. در این

و میزان تابش حرارتی با مجذور فاصله کاهش می‌یابد به طوری که با دو برابر شدن فاصله مقدار تابش به  $0/25$  مقدار اولیه کاهش می‌یابد. بنابراین تغییرات جزئی در ارتفاع نصب می‌تواند راندمان سامانه گرمایش را بسیار تغییر دهد. نتایج به دست آمده با نتایج دودکیویز و همکاران در خصوص اندازه‌گیری میدانی حرارت تابشی سامانه مادون قرمز در فضاهای صنعتی مشابه بود. در این مطالعه مشخص شد که بالاترین دمای تابشی در زیر گرمکن تابشی بوده و دما در هر نقطه وابسته به موقعیت گرمکن تابشی (فاصله در سطح افق، زاویه و ارتفاع نصب) می‌باشد (Dudkiewicz and Jeżowiecki, 2009).

در کارگاه شماره ۱ در اثر استفاده از گرماتاب‌ها، میزان کاهش درصد افراد ناراضی برابر با  $17/24$  درصد می‌باشد. این بدان معنی است که گرمکن‌ها توانستند بیش از  $17$  درصد رضایت کارکنان را از آسایش حرارتی محیط افزایش دهند. با این حال با توجه به درصد افراد ناراضی بعد از کاربری گرمکن‌ها مطابق با استاندارد ایزو  $7730$ ، آسایش حرارتی در محیط کار به‌طور مطلوب تامین نشده است که طرحی برای اصلاح آن پیشنهاد گردید.

در کارگاه شماره یک درصد افراد ناراضی بعد از روشن شدن گرمکن‌ها برابر با  $24/06$  می‌باشد که نشان می‌دهد حدود یک چهارم از افراد همچنان از وضعیت دمای محیط رضایت ندارند. این میزان ناراضی، مطابق با استاندارد ایزو  $7730$  از لحاظ تامین آسایش حرارتی در محیط کار قابل قبول نیست. ناکارآمدی گرمکن‌های موجود در کارگاه شماره یک می‌تواند به دلیل ارتفاع نصب گرمکن‌ها ( $8/5$  متر) و تعداد گرمکن‌های در نظر گرفته شده

اتلاف حرارتی سالن به‌طور متوسط به ازای هر متر مربع  $250 \text{ Kcal/hr}$  می‌باشد در نتیجه اتلاف حرارتی کل سالن  $135000 \text{ Kcal/hr}$  می‌باشد. اگر از گرمکن‌های مدل UT50 با ظرفیت حرارتی  $45000 \text{ Kcal/hr}$  استفاده کنیم، تعداد گرمکن مورد نیاز ۳ عدد می‌شود که می‌توان آنها را در ارتفاع  $5/7$  متری از کف، نصب نمود.

$$Q_T = Q_i \times A = 250 \text{ Kcal/hr.m}^2 \times 540 \text{ m}^2 = 135000 \text{ Kcal/hr}$$

$$N = Q_T / Q_m = 135000 \text{ Kcal/hr} / 45000 \text{ Kcal/hr} = 3$$

طول و عرض این گرمکن‌ها به ترتیب  $7/62$  و  $0/67$  متر می‌باشد و  $144$  کیلوگرم وزن دارند. علاوه بر ملاحظات ذکر شده در به‌کارگیری سامانه‌های گرمایش تابشی بهتر است نکات زیر نیز مدنظر قرار گیرد. در صورت استفاده از سقف‌های بلند استفاده از یک گرمکن با ظرفیت بالا به دو گرمکن با ظرفیت پایین برتری دارد. تاثیر فاصله در گرمکن‌ها با ظرفیت کمتر محسوس‌تر است. در انتخاب گرمکن‌ها باید دقت شود سقف سوله پشم شیشه نباشد و از عایق پشم سنگ نسوز یا ساندویچ پنل استفاده شود. در مورد گرمکن‌های سقفی محدودیت استفاده از چرثقیل وجود دارد که باید مدنظر قرار گیرد. در سوله‌هایی که افراد به صورت متمرکز هستند، گرمایش تابشی مناسب‌تر است و در صورت پراکندگی افراد در تمامی سوله سیستم‌های کوره هوایی پیشنهاد می‌شود. در سوله‌هایی که موارد قطع و وصل مکرر در سامانه‌های انرژی وجود دارد، گرمایش تابشی توصیه می‌شود. از عوامل مهم در راندمان سیستم‌های حرارتی، محاسبات دقیق، درنظر گرفتن شرایط محیطی، راه حل مناسب برای محدودیت‌ها و طراحی و اجرای مناسب سیستم می‌باشد. تفاوت اندک بین طرح روی کاغذ با آنچه که اجرا می‌شود

کارگاه به دلیل نصب گرمکن‌ها در ارتفاع پایین‌تر میزان رضایت افراد نسبت به کارگاه شماره یک،  $23/43$  درصد بیشتر می‌باشد که تاثیر کاهش ارتفاع گرمکن‌ها در افزایش دمای محیط و در نتیجه آسایش حرارتی افراد را نشان می‌دهد. با این حال هنوز بیش از  $6$  درصد ناراضی از شرایط جوی محیط وجود دارد. نتایج شاخص‌های آسایش حرارتی این مطالعه مشابه نتایج دونینی و همکاران در مطالعه میدانی از آسایش شاغلین و وضعیت حرارتی محیط‌های اداری در آب و هوای سرد است که در  $10$  ساختمان اداری در منطقه خلیج سان فرانسیسکو انجام شد و آسایش حرارتی کارکنان را با دو روش عینی و ذهنی ارزیابی کرد. طی این مطالعه میزان PMV در فصل تابستان و زمستان به ترتیب  $-0/3$  و  $-0/2$  به دست آمده است. درصد PPD نیز در فصل تابستان و زمستان به ترتیب  $13/1$  و  $13/6$  حاصل شده است. در روش ذهنی نیز آسایش حرارتی را با عددی بین  $1$  تا  $6$  بیان کردند که عدد  $1$  به معنی بسیار ناراحت و عدد  $6$  به معنی بسیار راحت می‌باشد که میانگین این شاخص در فصل تابستان و زمستان به ترتیب  $4/4$  و  $4/2$  می‌باشد (Donnini et al., 1997).

یکی از دلایل عمده جهت تامین شدن آسایش حرارتی کافی در این کارگاه، استفاده کارگران از پوشش‌های ضخیم می‌باشد که این پوشش ضخیم به‌عنوان مانعی برای کار کارگران محسوب می‌شود و باعث کاهش دامنه حرکتی کارکنان و در نتیجه افزایش خستگی آنها می‌شود.

جهت حل این مشکلات پیشنهاد شده است تعداد گرمکن‌ها را افزایش داده و ارتفاع نصب گرمکن‌ها را به  $5/7$  متر کاهش دهند. مساحت کارگاه شماره  $2$  برابر  $540$  متر مربع می‌باشد.

- le U., Ilegems M., Gini E., Melchior H. (2002) Continuous wave operation of a mid-infrared semiconductor laser at room temperature. *Science* 295:301-305.
- Beizaee A., Firth S.K., Vadodaria K., Loveday D. (2012) Assessing the ability of PMV model in predicting thermal sensation in naturally ventilated buildings in UK, *The changing context of comfort in an unpredictable world*, London. Center for Occupational and Environmental Health. (2013) *Occupational exposure limits*. 3th ed. Environmental Research Institute of Medical Sciences and Health Services, Tehran.
- Donnini G., Molina J., Martello C., Lai D.H.C., Lai H., Chang C.Y., Laflamme M., Nguyen V., Haghghat F. (1997) Field study of occupant comfort and office thermal environments in a cold climate. *Ashrae Transactions* 103:205-220.
- Dudkiewicz E., Jeżowiecki J. (2009) Measured radiant thermal fields in industrial spaces served by high intensity infrared heater. *Energy and Buildings* 41:27-35.
- Ghaddar N., Salam M., Ghali K. (2006) Steady thermal comfort by radiant heat transfer: the impact of the heater position. *Heat transfer engineering* 27:29-40.
- Imanari T., Omori T., Bogaki K. (1999) Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system.: Comparison with
- می‌تواند تاثیر زیادی بر راندمان داشته باشد. همچنین در طراحی‌ها باید افت راندمان ناشی از گذشت زمان مد نظر قرار گیرد و طول دوره‌های بازرسی تعیین شود.
- ### نتیجه گیری
- با توجه به حجم بزرگ این نوع کارگاه‌های صنعتی، گرمایش موثر کارگاه از طریق مکانیسم‌های همرفتی بسیار مشکل و پرهزینه می‌باشد. نتایج تایید نمود در صورتی که سامانه‌های گرمایش تابشی در کارگاه‌های صنعتی بر اساس اصول علمی طراحی و به کار گرفته شوند می‌توانند در بهبود آسایش حرارتی به دلیل گرمایش سطوح مجاور از طریق تابش و کاهش در مصرف سوخت و هزینه بسیار اثربخش باشند. از جنبه بهداشتی نیز میزان مواجهه با امواج مادون قرمز ساطع شده از سامانه گرمایش تابشی قابل ملاحظه نبود.
- ### منابع
- Ardehali M.M., Panah N.G., Smith T.F. (2004) Proof of concept modeling of energy transfer mechanisms for radiant conditioning panels. *Energy conversion and management* 45:2005-2017.
- ASHRAE Standard 55. (2004) *Thermal environment conditions for human occupancy* ASHRAE, Atlanta.
- Athienitis A., Shou J. (1991) Control of radiant heating based on the operative temperature. *ASHRAE transactions* 97:787-794.
- Beck M., Hofstetter D., Aellen T., Faist J., Oester-

- U.P.B. Sci 74:83-92.
- Nasrollahi N, Knight I, Jones P. (2007) Surveyed Thermal Comfort in Iranian Offices Proceeding of 9th REHVA world congress Clima 2007 Well-Being Indoors, Finland.
- Petráš D., Kalús D. (2001) Effect of Thermal Comfort/Discomfort due to Infrared Heaters Installed at Workplaces in Industrial Buildings. *Indoor and Built Environment* 9:148-156.
- Pourshaghaghay A., Omidvari M. (2012) Examination of thermal comfort in a hospital using PMV-PPD model. *Appl Ergon* 43:1089-1095.
- Roth K., Dieckmann J., Brodrick J. (2007) Infrared radiant heaters. *ASHRAE journal* 49:72.
- Simmonds P. (1996) Practical applications of radiant heating and cooling to maintain comfort conditions. *ASHRAE transactions* 102:659-666.
- Siple P.A., Passel C.F. (1945) Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society* 89:177-199.
- Wan M. (2006) Assessment of occupational heat strain, University of South Florida, south florida.
- Yost P.A., Barbour C.E., Watson R. (1995) An evaluation of thermal comfort and energy consumption for a surface-mounted ceiling radiant panel heating system. *ASHRAE transactions* 101:1221-1235.
- the conventional all-air system. *Energy and Buildings* 30:167-175.
- Ismail A.R., Bakar R.A., Jusoh N., Makhtar N.K., Rahman M.N.A., Meier C. (2010) Assessment of Thermal Comfort at Malaysian Automotive Industry. *Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering* 3:73-88.
- ISO 7730. (2005) Ergonomics of the thermal environment-analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria International standard organization, Geneva.
- ISO 10551. (1995) Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. 1st ed. International Standards Organisation, Geneva.
- Ivanescu M., Neacsu C., Tabacu S., Tabacu I. (2010) The human thermal comfort evaluation inside the passenger compartment, FISITA 2010 World Automotive Congress, Budapest, Hungary.
- Kumar A., Singh I.P., Sud S.K. (2009) Thermal Comfort Feelings Assessment Based on Digital Signal Processor. *International Journal of Recent Trends in Engineering* 1:159-162.
- Mirela Sanda. (2012) Paper economical consideration concerning radiant heating system.

## Study of heating performance of radiant ceiling heating system and its impact on workers thermal comfort level of workers in typical industrial work shops

M. Aliabadi<sup>1</sup>; G. Hesam<sup>1\*</sup>; R. Rahimpoor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Occupational Hygiene, Faculty of public health, Hamadan University of Medical Sciences,

### Abstract

**Introduction:** Thermal comforts are one of the most human concerns in working as was as living environments in the past half century. Thermal comfort is the condition in which people are satisfied with the thermal environment, mentally. One of the new heating system employed in individual units is radiant heating system. The purpose of this study was to investigate the performance of radiant ceiling heating system and its impact on thermal comfort of workers.

**Material and Method:** In the present analytical-descriptive study, the designed radiant heating systems were investigated in two repair and maintenance units, in Hamadan gas pipeline operation center. Firstly, the environment parameters, witch impact thermal comfort, were measured before and after using radiant heating system, in both understudy units. Then, wind chill index, thermal comfort indices, PMV and PPD were calculated. In addition, PPD and PMV were determined, based on workers subjective feeling by a questionnaire distributed among 22 workers.

**Results:** According to the results, the radiant heating system in unit 1, has reduced the wind chill index by 42.3 Kcal/ m<sup>2</sup>.h, witch is not considered to be significant. In unit 2, wind chill index has been decreased by 109.3 Kcal/ m<sup>2</sup>.h, witch mean that thermal comfort has been changed from cold to an optimum environment. PMV n unit 1 went up by 37% after turning the system on, witch is equal to 17.24% increase in workers satisfaction. However, in unit 2, the workers satisfaction was 14.3% higher in comparison with unit 1.

**Conclusion:** Due to large space of these industrial units, producing appropriate heating by convection mechanism is too difficult and expensive. The results confirmed that if radiant heating system applied based on scientific design principles they could be effective in promotion of thermal comfort due to heating surrounding surface by radiant and also reducing fuel consumption.

**Key words:** Radiant heating system, Thermal comfort, PMV index, PPD index

\* Corresponding Author Email: ghasem\_hesam@yahoo.com