ارزیابی ریسک ناشی از استرس گرمایی با استفاده از روش AHP و TOPSIS در محیط فازی– مطالعه موردی: کارگاه ریخته گری فلزات

فریده گلبابایی[۱]- محسن امیدوار[۲*]- فرشته نیرومند[۳]

m.omidvar@bpums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۱۳

چکیده

مقدمه: فعالیت درمحیط‌های گرم و شرایط جوی نامناسب، می‌تواند به بیماری‌های ناشی از گرما و حتی در مواردی به مرگ منجر شود. ارزیابی ریسک استرس گرمایی در این محیط ها از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. از آنجایی که عوامل مختلفی بر استرس گرمایی موثر می باشند، لذا بایستی از شاخصی استفاده نمود که بازتاب دهنده اثر تمام این عوامل باشد.

روش کار: ابتدا یک تیم ۵ نفره از متخصصین تشکیل شد. سپس با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی(FAHP) اهمیت هر یک از متغیرها مشخص گردید. در مرحله بعد با استفاده از روش فازی تاپسیس (FTOPSIS)، ۵ ایستگاه کاری موجود در فرایند ریخته گری فلزات مورد ارزیابی قرار گرفته و ریسک ناشی از استرس گرمایی در آنها اولویت بندی گردید. در انتها نیز، جهت بررسی میزان ارتباط نتایج روش پیشنهادی با شاخص WBGT از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

یافته ها: اوزان مربوط به سه متغیر اصلی شامل ویژگی کار(C1)، محیط(C2) وکارگر(C3) به ترتیب برابر با ۰/۲۷۹، ۰/۵۲۶ و ۰/۱۹۵ برآورد گردیدند. ۵ ایستگاه کاری شامل ایستگاه جمع آوری و تخلیه ضایعات، کوره ذوب، بخش ذوب ریزی و قالب گیری، پرداخت قطعات و انبارقطعات به ترتیب اولویتهای ریسک ۴=S_1، ۲=S_2، ۱=S_3، ۳=S_4 و۵=S_5 را بدست آوردند. ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص شباهت و WBGT برابر با ۰/۹۷ محاسبه گردید.

نتیجه گیری: از بین سه متغیر اصلی دخیل در استرس گرمایی، متغیر "محیط کار" بیشترین اهمیت را در ارزیابی ریسک دارا می باشد و لذا بیشترین تلاش بایستی در کنترل این متغیر متمرکز گردد. روش ارائه شده در این مطالعه توانایی ارزیابی همزمان متغیرهای کیفی و کمی موثر بر استرس گرمایی را دارا بوده و عدم قطعیتهای موجود در فرآیند ارزیابی ریسک را با تکیه بر مجموعه های فازی به حداقل می رساند.

کلمات کلیدی: *استرس گرمایی، ارزیابی ریسک، تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس، تئوری فازی*

۱- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

۳- کارشناس محیط زیست، دانشگاه علمی کاربردی، تهران، ایران

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

مقدمه

کارگران فعال در فرآیندهایی نظیر ریخته گری، سرامیک سازی، معدنکاری، شیشه گری، نورد فولاد و برخی فعالیتهای نظامی، معمولا در معرض گرمای بیش از حد قرار می گیرند (۱). فعالیت در چنین محیطهایی باعث برخی تغییرات فیزیولوژیک نظیر افزایش ضربان قلب، میزان تعریق و دمای بدن می شود. به دنبال این تغییرات، خون به سرعت از اندامهای داخلی جمع آوری شده و به سطح پوست جریان می یابد تا افزایش دمای ایجاد شده را تا حد دمای طبیعی داخلی بدن کاهش دهد (۲).گر چه بدن به چنین سیستمهای دفاعی مجهز است؛ ولی برخی از مواقع، قرار گرفتن در معرض گرمای بیش از حد،سبب استرس گرمایی شده و باعث می شود سیستمهای فیزیولوژیک بدن دچار اختلال شده و فرد در معرض خطر قرار گیرد. استرس گرمایی می تواند باعث ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی و روانی شده، راندمان را کاهش داده و باعث افزایش شیوع حوادث می گردد (۳). افزایش استرس حرارتی در سیستم تنظیم حرارتی، قلبی-عروقی و ادراکی بدن می تواند منجر به سراسیمگی، تحریک پذیری و سایر استرسهای عاطفی شود که می توانند منجر به حواس پرتی و نادیده گرفتن دستورالعمل های ایمنی گردند (۴). از طرفی دیگر، ایجاد شرایط حرارتی مناسب می تواند باعث افزایش راندمان کاری، کاهش غیبت و بهبود سطح رفاه گردد (۳).

در این بین، شناخت تفاوت بین استرس و استرین حرارتی حائز اهمیت می باشد. در حالیکه استرس حرارتی به مجموع بارگرمایی اعمال شده در نتیجه شرایط محیطی، فیزیکی و عوامل فردی بستگی دارد (۵)، استرین حرارتی بصورت پیامدهای فیزیولوژیکی و یا روانشناختی استرس گرمایی تعریف می شود (۶). ولی نکته قابل تامل این است که ارزیابی استرس حرارتی و تفسیر آن در قالب استرین فیزیولوژیکی و سایکولوژیکی پیچیده می باشد (۷).

طی سالیان اخیر شاخصهای متعددی جهت مدلسازی و پیش بینی استرس و استرین حرارتی توسعه یافته اند. کل شاخص های پیشنهادی را می توان در سه گروه "شاخصهای منطقی"، شاخصهای تجربی" و " شاخصهای مستقیم" تقسیم بندی نمود. دو گروه اول این شاخصها (شاخصهای منطقی و تجربی) شاخصهای پیچیده ای می باشند که متغیرهای فیزیکی و فیزیولوژیکی را در هم ادغام نموده، محاسبه آنها سخت بوده و برای استفاده های روزانه مناسب نمی باشند؛ در حالی که گروه سوم (شاخصهای مستقیم) شامل شاخصهای ساده ای می باشند که بر اساس اندازه گیری فاکتورهای محیطی بنا شده اند، اما سایر عوامل فیزیولوژیکی را در نظر نمی گیرند (۷). از آنجایی که اکثر شاخصهای پیشنهادی دارای محدودیت و پیش فرض هایی می باشند، لذا هر یک از شاخصها برای موقعیتهای خاص کاربرد دارند. به کارگیری شاخص مناسب معضلی است که هنگام استفاده ازاین شاخصها می تواند افراد را دچار مشکل سازد. بر اساس گزارش Brake و Bates در قرن اخیر بیشتر از ۶۰ شاخص استرس حرارتی توسعه یافته اند تا اثر میزان استرس حرارتی وارده از محیط را مورد ارزشیابی قرار دهند، در حالی که یک شاخص واحد که بتواند بازتاب دهنده استرین حرارتی باشد و از مقبولیت همگانی برخوردار باشد، وجود ندارد (۸).

از جمله شاخص های استرس گرمایی می توان به شاخص دمای تر (T_w) (۹)، دمای موثر (ET) (۱۰)، دمای معادل (Teq) (۱۱)، شاخص استرس حرارتی (HIS) (۱۲)، دمای تر گویسان (WBGT) (۱۳)،

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

شاخص ناراحتی (DI) (۱۴)، عرق مورد نیاز (SWreq) (۱۵)، میانگین رای پیش بینی شده (PMV) (۱۶)، شاخص استرین حرارتی تجمعی (CHSI) (۱۷)، شاخص استرین فیزیولوژیکی (PSI) (۱۸)، شاخص ناراحتی بهبود یافته (MDI) (۱۹)، شاخص استرس محیطی ESI)) (۲۰)، دمای خشک- تر گویسان (WBDT) (۲۱)، شاخص دمای خشک رطوبت نسبی (RHDT) اشاره نمود. علاوه بر این، مقالات مختلفی در زمینه کاربرد این شاخصها ارائه شده اند؛ گلبابایی و همکاران در مطالعه ای اثراسترس گرمایی بر توجه انتخابی و زمان واکنش کارگران در کارگاه ریخته گری یک شرکت خودروسازی را با استفاده از شاخص WBGT و آزمونهای استروپ 1، 2و 3 مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که استرس گرمایی موجب افزایش زمان واکنش وکاهش توجه انتخابی در افراد می شود (۲۲). در مطالعه دیگری، یگانه و همکاران میزان مواجهه با گرما در کارگران نانوایی های شهر اصفهان با کاربرد شاخص دمای ترگویسان (WBGT)، شاخص نمره استرین گرمایی (HSSI) و دمای دهانی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه این تحقیق نشان داد که ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص دمای تر گویسان و شاخص نمره استرین گرمایی بالاتر از ۰/۶۲ می باشد (۲۳). در تحقیقی که توسط نگهبان و همکاران صورت گرفت، به منظور تعیین شاخص بهینه استرین گرمایی، ارتباط بین استرس گرمایی و پاسخ فیزیولوژیک ناشی از آن مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعه، ارزیابی استرس گرمایی بر مبنای شاخص دمای تر گویسانWBGT صورت گرفت و اندازه گیری استرین فیزیولوژیکی وارده بر بدن بر مبنای دمای زیرزبانی، دمای تمپان، دمای ادرار، ضربان قلب و بازیابی ضربان قلب انجام شد. نتایج این مطالعه نشان دادند که از بین شاخصهای استرین مورد بررسی، دمای تمپان ارتباط قوی تری را باشاخصWBGT دارد (۲۴). دهقان و همکاران،یک روش پرسشنامه ای تحت عنوان شاخص نمره استرین گرمایی Heat Strain Score Index (HSSI) را به منظور ارزیابی مقدماتی استرس گرمایی، طراحی و پایایی و روایی آن را مورد بررسی قرار دادند (۲۵).

بر اساس استانداردهایASHRAE 55 (۲۶)، ISO 7730 (۲۷) و تئوری تعادل حرارتی فانگر (۲۸)، به طور کلی شش عامل وجود دارند که می توانند آسایش حرارتی را تحت تاثیر قرار دهند. این عوامل شامل عوامل محیطی (دمای خشک، رطوبت نسبی، دمای گوی سان و سرعت جریان هوا) و فردی (درجه عایق بودن لباس (CLO) و نرخ متابولیسم (MET) می باشند. مطالعات مختلف نشان داده اندکه احساس حرارتی غیر از عوامل فوق تحت تاثیر عواملی نظیر انطباق و عادت به محیطهای گرم نیزقرار می گیرد (۲۹, ۳۰). البته بایستی یادآوری گردد که ارزیابی ریسک محیطهای گرم، نه تنها به درک کارگران از محیط گرم، بلکه به عوامل متعدد دیگری نظیر آموزش ایمنی و محیط کاری نیز بستگی دارد (۳۰, ۳۱). با توجه به عوامل فوق می توان نتیجه گرفت که ارزیابی ریسک محیطهای گرم، تنها تحت تاثیر عوامل محیطی نبوده و عوامل مختلفی بر روی آن تاثیر دارند. لذا، فرایند ارزیابی ریسک این محیطها بایستی از دیدگاه کل نگر (Holistic) صورت گرفته و می توان آن را به صورت یک مساله تصمیم گیری چند متغیره (MCDM: Multi Criteria Decision Making) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. بنابراین هدف از این تحقیق، ارائه یک روش جهت ارزیابی ریسک محیطهای گرم و مرطوب مبتنی بر روشهای MCDM

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

می باشد. در این مطالعه ابتدا با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP: Fuzzy Analytical Hierarchy Process) میزان تاثیر هر یک از عوامل بر ارزیابی ریسک محیطهای گرم و مرطوب تعیین گردیده و سپس ریسک هر یک از ایستگاههای مختلف کاری با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده آل فازی (FTOPSIS: Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) اولویت بندی گردیدند.

روش کار

مطالعه حاضر که از نوع تحلیلی-مقطعی می باشد، به منظور ارزیابی استرس گرمایی و اولویت بندی ریسک بخش های مختلف فرآیند با توجه به مولفه های استرس گرمایی، در یک کارگاه ذوب و قالب گیری قطعات فلزی صورت گرفت. روش مورد استفاده جهت تعیین اهمیت معیارها روش AHP فازی می باشد. به منظور اعتبار بخشی روش مورد استفاده، از نظرات متخصصین، در قالب یک پانل تخصصی استفاده شد. علاوه بر این به منظور تعیین ناسازگاری داده های مورد بررسی، از شاخص ناسازگاری (C.R.) استفاده شد. روش AHPیکی از روشهای تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) می باشد که جهت آنالیز تصمیم گیریهای پیچیده کاربرد دارد. این روش به منظور وزن دهی شاخصها ازروش مقایسه زوجی استفاده می کند(۳۲). ازآنجایی که روش AHP سنتی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را بطور کامل ندارد، بهتر است از مجموعه های فازی که سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد، استفاده شود (۳۲). علاوه بر این به منظور ارزیابی ایستگاههای کاری از روش FTOPSIS استفاده شد. TOPSIS یکی از روشهای MCDM می باشد که توسط Hwang وYoon ارائه شده است (۳۳). این روش بر مبنای حداقل فاصله ویژگی انتخابی از راه حل ایده آل مثبت و حداکثر فاصله از راه حل ایده آل منفی استوار است. در روش TOPSIS کلاسیک برتری های انتخابی بر مبنای اعداد قطعی ارائه می شوند؛ این در حالی است که داده های ارائه شده توسط متخصصین عاری از عدم قطعیت نمی باشد. لذا استفاده از تئوری فازی در انجام محاسبات می تواند عدم قطعیت های موجود را تا حدود زیادی تحت پوشش قرار دهد (۳۴). بنابراین در این مطالعه جهت اولویت بندی ریسک ایستگاههای کاری از روش TOPSIS فازی استفاده شد.در ادامه، مراحل مربوط به تعیین مولفه های استرس گرمایی و نحوه تعیین میزان اهمیت مولفه های شاخص استرس گرمایی با استفاده از روش AHP فازی و اولویت بندی ریسک استرس گرمایی در ایستگاههای مختلف کاری، توضیح داده شده است:

تشکیل تیم تصمیم گیری

اولین مرحله در فرایند ارزیابی سطح ریسک ناشی از استرس گرمایی در کارگاه ریخته گری مورد مطالعه، تشکیل یک تیم تصمیم گیری(DMG: Decision Making Group) متشکل از متخصصین فرایندی، ایمنی و اپراتورها جهت تعیین اهمیت هر یک از شاخصها و تعیین یک ساختار مبنا جهت رتبه بندی سطح ریسک ناشی از فعالیت در محیطهای گرم و خشک در بخشهای مختلف یک فرایند بود. بدین منظور یک تیم ۵ نفره، شامل ۲ متخصص فرایندی، ۲ متخصص HSE و ۱ اپراتور تشکیل گردید. در این مطالعه هر یک از اعضای تیم تحت عنوان DMs نامیده می شوند.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

تعیین مولفه های موثر بر استرس گرمایی و تشکیل ساختار سلسله مراتبی

با توجه به مطالعات کتابخانه ای که صورت گرفت، ۳ شاخص اصلی در مقالات مختلف برای ارزیابی ریسک محیطهای گرم مورد استفاده قرار گرفته بودند که مطابق با جدول (۱) فهرست بندی شدند(۳۵). در نهایت، یک ساختار سلسله مراتبی شامل ۳ شاخص اصلی و ۱۰ مولفه فرعی ارزیابی، با تایید تیم ارزیابی به صورت زیر تدوین گردید (جدول ۱).

تعیین ماتریس وزن معیارها

قبل از ارزیابی ایستگاههای کاری نیاز است تا اهمیت هر یک از متغیرهای اصلی و زیرشاخصهای ارزیابی تعیین گردند. بدین جهت از روش FAHP(۳۲) جهت تعیین وزن هر یک از متغیرهای اصلی و فرعی استفاده شد. مراحل تعیین اوزان به شرح زیر می باشند:

جدول ۱- مولفه های مورد استفاده در مطالعات مختلف جهت ارزیابی استرس گرمایی

شاخص	زیر- شاخص
کار (C1)	**ماهیت کار** (C1.1)
	شدت کار (C1.2)
	مدت زمان انجام کار (C1.3)
محیط (C2)	**دمای خشک** (C2.1)
	رطوبت نسبی (C2.2)
	سرعت جریان هوا (C2.3)
	دمای گویسان (C2.4)
کارگر (C3)	**مهارت و تجربه** (C3.1)
	آموزش (C3.2)
	وسایل حفاظت فردی (C3.3)

ایجاد ماتریس مقایسه زوجی:

پس از تشکیل ساختار سلسله مراتبی، ازهر یک از اعضای پانل تخصصی خواسته شد تا نظرات خود را در مورد اهمیت هر یک از مولفه ها به صورت مقایسه زوجی بیان کنند. این افراد نظرات خود را در قالب اصطلاحات زبانی در ۹ سطح بیان نمودند (جدول۲).

پس از مقایسه زوجی بین مولفه ها، یک ماتریس $\tilde{X}$ مطابق ساختار زیر ساخته شد (رابطه ۱).

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

محاسبه اوزان

در این مطالعه ازروش میانگین هندسی برای تعیین وزن متغیرهای استرس گرمایی استفاده شد. نظرات DMs به صورت اعداد فازی ذوزنقه ای (TrFN) در نظر گرفته شده و از روابط (۲ الی ۵) جهت تعیین بردار وزن استفاده شد. یک عدد TrFN به صورت $\tilde{A}=(\alpha,\beta,\gamma,\delta)$ تعریف می شود. بر اساس ماتریس مقایسه زوجی $\tilde{X}$، مقادیر مجموع هر یک از مولفه ها به صورت زیر محاسبه گردید(۳۶).

$$\alpha_j = \left[\prod_{j=1}^{n} l_{ij}\right]^{1/n} ; \ \beta_j = \left[\prod_{j=1}^{n} m_{ij}\right]^{1/n} ; \quad (2)$$
$$\gamma_j = \left[\prod_{j=1}^{n} n_{ij}\right]^{1/n} ; \ \delta_j = \left[\prod_{j=1}^{n} s_{ij}\right]^{1/n}$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j ; \quad \beta = \sum_{j=1}^{n} \beta_j ; \quad (3)$$
$$\gamma = \sum_{j=1}^{n} \gamma_j ; \quad \delta = \sum_{j=1}^{n} \delta_j$$

سپس وزن هر یک از مولفه ها به صورت زیر

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

محاسبه شد (رابطه ۴)

$$\tilde{w}_j = (\alpha_j\delta^{-1}, \beta_j\gamma^{-1}, \gamma_j\beta^{-1}, \delta_j\alpha^{-1}) j \in \{1,2,\dots,n\} \quad (4)$$

در نهایت بردار وزن فازی به صورت زیر تشکیل گردید (رابطه۵).

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1 \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \quad (5)$$

تشکیل ماتریس تصمیم:

با توجه به تعداد معیارها (متغیرهای ارزیابی)، گزینه ها (ایستگاههای کاری) و ارزیابی گزینه ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر تشکیل شد (رابطه ۶):

$$D = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

ارزیابی مولفه ها و زیر مولفه های استرس گرمایی

پس از تعیین چارچوب ارزیابی (جدول ۱)، هر یک از متخصصین تیم ارزیابی نظرات خود را در مورد وضعیت هر یک از مولفه های استرس گرمایی (بجز پارامترهای محیطی) در قالب متغیرهای زبانی در ۷ سطح شامل خیلی ضعیف (VL) ، ضعیف (L)، تا حدودی ضعیف (ML)، متوسط (M)، تا حدودی خوب (MH)،خوب(H) و خیلی خوب (VH) بیان نمودند (جدول۳). البته بایستی ذکر شود که در این بخش، مولفه هایی نظیر سازش داشتن یا نداشتن، لباس و میزان فعالیت، برنامه کار و استراحت، لوازم حفاظت فردی که در تعیین شاخص WBGT مورد استفاده قرار می گیرند، در قالب متغیرهای ماهیت کار، شدت کار، مدت زمان انجام کار، مهارت و تجربه، آموزش و وسایل حفاظت فردی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱).

جدول ۲- متغیرهای زبانی و اعداد ذوزنقه ای مورد استفاده جهت مقایسه متغیرهای استرس گرمایی

متغیر زبانی	اعداد فازی ذوزنقه ای (TrFN)			
اهمیت یکسان (EI)	1	1	1	1
برتری یکسان تا ضعیف (EIWI)	1	1.5	3	3
برتری ضعیف(WI)	2	2.5	4	4
برتری ضعیف تا متوسط (WIEI)	3	3.5	5	5
برتری متوسط (ESI)	4	4.5	6	6
برتری متوسط تاشدید (EIVSI)	5	5.5	7	7
برتری شدید(VSI)	6	6.5	8	8
برتری شدید تا مطلق (VSIAI)	7	7.5	9	9
برتری مطلق (AI)	8	8.5	9	9

سنجش پارامتر های محیطی و شاخص WBGT:

به منظور اندازه گیری ۴ متغیر محیطی دمای خشک، دمای گویسان، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا به ترتیب از دماسنج های جیوه ای معمولی (خشک)، گوی سان (گوی مسی سیاه ۶ اینچی)، رطوبت سنج چرخان و دماسنج کاتای نقره اندود دماسنج (برند Casella انگلستان) استفاده شده و با استفاده از روابط مربوطه، مقادیر مربوط به هر یک از این متغیرها تعیین شدند. مقادیر اندازه گیری شده در هر ایستگاه کاری سه بار و هر بار در سه ناحیه سر، شکم و زانو اندازه گیری شده و از مقادیر بدست آمده میانگین گیری شد (۲۲). لازم به ذکر است که مقادیر اندازه گیری شده در زمان فعالیت اپراتور در هر ایستگاه و هم چنین در زمانهای استراحت در یک بازه زمانی ۱ ساعته اندازه گیری شدند.

بی مقیاس (نرمالیزه) کردن ماتریس تصمیم فازی

در این مرحله برای بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم، از روش تغییر مقیاس خطی (LST) به صورت زیر استفاده شد (روابط ۷ و ۸):

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{\alpha_{ij}}{d_j^*}, \frac{\beta_{ij}}{d_j^*}, \frac{\gamma_{ij}}{d_j^*}, \frac{\delta_{ij}}{d_j^*}\right) \text{و} d_j^* = \max \delta_{ij} \left(\text{معیار مثبت}\right) \quad (7)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{\delta_{ij}}, \frac{a_j^-}{\gamma_{ij}}, \frac{a_j^-}{\beta_{ij}}, \frac{a_j^-}{\alpha_{ij}}\right) \text{و} a_j^- = min\alpha_{ij} \left(\text{معیار منفی}\right) \quad (8)$$

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

تشکیل ماتریس تصمیم فازی وزن دار (WDFM)

WDFM، در واقع حاصلضرب ماتریس تصمیم بی مقیاس شده در بردار فازی می باشد که از طریق رابطه زیر (رابطه۹) تعیین شد.

$$\tilde{\mathrm{V}} = \tilde{r}_{\mathrm{ij}} \otimes \tilde{\mathrm{w}}_{\mathrm{j}} \qquad (9)$$

یافتن حل ایده آل فازی (A^+ ,FPIS)و حل ضد ایده آل فازی(A^- ,FNIS)

FPIS و FNIS به ترتیب از طریق روابط (۱۰) و (۱۱) تعیین شدند.

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \dots, \tilde{v}_n^+\},$$
$$where \tilde{v}_j^+ = \{max(\tilde{v}_{ij}) \text{if} j \in J\,; min(v_{ij}) \text{if} j \in J'\} j = 1, \dots, n \qquad (10)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \dots, \tilde{v}_n^-\},$$
$$where \tilde{v}_j^- = \{min(\tilde{v}_{ij}) \text{if} j \in J\,; max(v_{ij}) \text{if} j \in J'\} j = 1, \dots, n \qquad (11)$$

محاسبه فاصله از حل ایده آل (FPIS)و ضد ایده آل (FNIS) فازی

در این مرحله، فاصله از FPIS وFNIS به ترتیب از طریق روابط (۱۲) و (۱۳) محاسبه گردید:

جدول ۳- متغیرهای زبانی و اعداد ذوزنقه ای مورد استفاده جهت ارزیابی مولفه های استرس گرمایی

متغیر زبانی	اعداد فازی ذوزنقه ای(TPFN)
خیلی ضعیف(VL)	(۰،۰،۱،۲)
ضعیف(L)	(۱،۲،۲،۳)
تا حدودی ضعیف (ML)	(۲،۳،۴،۵)
متوسط(M)	(۴،۵،۵،۶)
تا حدودی خوب (MH)	(۵،۶،۷،۸)
خوب(H)	(۷،۸،۸،۹)
خیلی خوب(VH)	(۸،۹،۱۰،۱۰)

$$d_i^+ = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij} - v_{ij}^+\right)^2\right\}^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m \qquad (12)$$

$$d_i^- = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij} - v_{ij}^-\right)^2\right\}^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m \qquad (13)$$

محاسبه شاخص شباهت (CC_i) و الویت بندی گزینه ها

در مرحله آخر نیز، شاخص شباهت از طریق رابطه (۱۴) محاسبه شده و سپس گزینه ها بر مبنای CC_i بدست آمده الویت بندی شدند

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, \quad i = 1, \dots, m, \quad C_i \in (0,1) \qquad (14)$$

بررسی میزان ارتباط نتایج حاصل از ارزیابی با استفاده روش پیشنهادی و شاخص WBGT

پس از محاسبه شاخص شباهت و به منظور بررسی میزان ارتباط نتایج حاصل از اولویت بندی ریسک با استفاده روش پیشنهادی در این مطالعه و شاخص WBGT، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید.

یافته ها

نتایج ارزیابی ریسک استرس گرمایی به صورت مقایسه زوجی و در قالب متغیرهای زبانی در جدول ۴ نشان داده شده است. ردیف اول جدول نشان دهنده شاخصهای اصلی و زیرشاخصهای ارزیابی می باشند که به صورت مقایسه زوجی (به عنوان مثال C1/C2) نشان داده شده اند. هم چنین ستون اول جدول، نشان دهنده اعضای تیم متخصصین (۳ نفر) می باشد که نظرات خود را در مورد اهمیت هر یک از شاخصها، با استفاده از متغیرهای زبانی نمایش داده شده در جدول بیان نموده اند.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

علاوه بر این، شاخصهای گروه ۲ (شاخصهای فیزیکی) و شاخصهای گروه ۱ و ۳، در جدول ۵ نشان داده شده اند. در جدول ۵، ستون اول جدول نشان دهنده شاخصهای اصلی و زیر شاخصهای ارزیابی می باشد. هم چنین ردیف های روبروی هر ستون، به ترتیب نشان دهنده نتایج ارزیابی هر یک از شاخصها و زیر شاخصها در ۵ ایستگاه کاری می باشند. پس از انجام محاسبات اوزان مربوط به شاخصهای اصلی و زیر شاخصها با استفاده از روش FAHP، وزنهای مربوطه به صورت زیر تعیین شدند (جدول ۶). نتایج مربوط به محاسبات شاخص شباهت (CC_i) و الویت بندی گزینه ها (ایستگاههای کاری) نیز در جدول ۷ نشان داده شده اند. علاوه بر این به منظور بررسی میزان ارتباط نتایج روش پیشنهادی با نتایج حاصل از اندازه گیری شاخص WBGT، اولویت بندی ریسک بر اساس نتایج محاسبه WBGT نیز انجام شد که نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است.

به منظور بررسی میزان ارتباط نتایج حاصل از ارزیابی با استفاده روش پیشنهادی در این مطالعه و شاخص WBGT، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. ضریب همبستگی بدست آمده برابر با (r=0.97) بدست آمد (جدول ۷).

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه، جهت ارزیابی ریسک ناشی از استرس گرمایی در محیطهای گرم از روشهای تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) استفاده شد. دلیل استفاده از این روشها، وجود متغیرهای زیاد جهت ارزیابی استرس گرمایی می باشد. بدین منظور، جهت تعیین وزن هر یک از معیارها (متغیرهای اصلی و فرعی ارزیابی) از روش FAHP و جهت اولویت بندی گزینه ها (ایستگاه های کاری) از روش FTOPSIS (۳۴) استفاده شد.

همان گونه که از جدول (۶) مشاهده می شود وزن مربوط به متغیرهای اصلی ارزیابی شامل ویژگیهای فعالیت (C_1)، متغیرهای محیطی (C_2) و ویژگیهای کارگر (C_3) به ترتیب برابر با W_{C1}=۰/۲۷۹، W_{C2}=۰/۵۲۶ و W_{C3}=۰/۱۹۵ برآورد گردیدند. این موضوع نشان دهنده آن است که عوامل محیطی (فیزیکی) بیشترین تاثیر را بر روی ریسک ناشی از استرس گرمایی اعمال می کنند. از طرفی دیگر، در متغیرهای فرعی نیز به ترتیب متغیرهای شدت کار ($C_{1.2}$)، دمای خشک ($C_{2.1}$) و مهارت و تجربه ($C_{3.1}$) به ترتیب با$W_{C1.2}$=۰,۶۱۶، $W_{C2.1}$=۰,۳۷۹و $W_{C3.1}$=۰,۵۶۳ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده اند. این بدین معناست که جهت بهبود شرایط کار در محیطهای گرم بایستی بیشترین توجه بر این متغیرها متمرکز گردد. اعداد بدست آمده با نتایج سایر مطالعات همخوانی دارد (۳۶ ,۳۵).

اولویت بندی ایستگاههای کاری نیز بر مبنای شاخص شباهت صورت گرفت. دلیل استفاده از روش FTOPSIS جهت اولویت بندی، این است که در فرایند ارزیابی برخی از متغیرها اثر مثبت (استفاده از وسایل حفاظت فردی، آموزش و ...) و برخی اثر منفی (دمای خشک، دمای گویسان و ...) بر روی شاخص شباهت داشته و بنابراین نیاز است که این اثرات بر روی ارزیابی نهایی اعمال شوند. همان گونه که از جدول ۷ مشاهده می شود ایستگاه شماره ۳ (ذوب ریزی و قالب گیری) به دلیل بالا بودن متغیرهای فیزیکی (دمای خشک، دمای گویسان) و هم چنین مناسب نبودن آموزشها و وسایل حفاظت فردی و شدت بالای کار، بالاترین رتبه در ریسک را به خود اختصاص داده است. با توجه به این موضوع می توان با اجرای برنامه آموزشی صحیح و استفاده از وسایل حفاظت فردی مناسب (نظیر روپوشهای آلمونیومی بازتاب دهنده و حفاظهای صورت) تا حدودی سطح ریسک را کاهش داد (۳۷).

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

جدول ۴- نظرات تیم متخصصین در مورد اهمیت هر یک از شاخصها و زیرشاخصهای ارزیابی ریسک استرس گرمایی

	C1/C2	C1/C3	C2/C3	C1.1/C1.2	C1.1/C1.3	C1.2/C1.3	C2.1/C2.2	C2.1/C2.3	C2.1/C2.4	C2.2/C2.3	C2.2/C2.4	C2.3/C2.4	C3.1/C3.2	C3.1/C3.3	C3.2/C3.3
DM_1	ENIWNI	EIWI	WI	WNI	ENIWNI	WI	EIWI	WI	EIWI	ENIWNI	ENIWNI	EIWI	WI	WI	EIWI
DM_2	WNIENI	ENIWNI	WIEI	WNIENI	ENIWNI	WIEI	WI	EIWI	EIWI	WNI	ENIWNI	EIWI	EIWI	WIEI	WI
DM_3	WNI	EIWI	WI	WNIENI	WNI	WIEI	EIWI	EI	EIWI	ENIWNI	ENIWNI	EIWI	WI	WI	EIWI
DM_4	ENIWNI	EI	EIWI	WNIENI	ENIWNI	WI	EIWI	EIWI	EI	ENIWNI	WNI	EI	WI	WI	EIWI
DM_5	ENIWNI	EIWI	WI	WNI	WNI	WIEI	EI	EIWI	EIWI	WNI	EI	EI	EIWI	WIEI	WI

DM 1, …, 5: اعضای تیم تخصصی

C1: متغیرهای کاری، C2: متغیرهای محیطی، C3: متغیرهای مربوط به کارگر

C1.1: ماهیت کار، C1.2: شدت کار، C1.3: مدت زمان انجام کار، C2.1: دمای خشک، C2.2: رطوبت نسبی، C2.3:سرعت جریان هوا ، C2.4: دمای گویسان C3.1: مهارت و تجربه، C3.2: آموزش، C3.3: وسایل حفاظت فردی

EI: اهمیت یکسان، EIWI: برتری یکسان تا ضعیف، WI: برتری ضعیف، WIEI: برتری ضعیف تا متوسط، ESI: برتری متوسط، EIVSI: برتری متوسط تا شدید، VSI: برتری شدید، VSIAI: برتری شدید تا مطلق، AI: برتری مطلق

حرف N در هر یک از حروف جدول فوق نشان دهنده برتری (اهمیت) معکوس متغیر Cm/Cn می باشد

جدول ۵- نتایج ارزیابی شاخصهای گروه ۲ (شاخصهای فیزیکی) و شاخصهای گروه ۱ و ۳ (ویژگیهای کارگر و شغل)

		ایستگاه ۱ (ایستگاه جمع آوی و تخلیه ضایعات)				ایستگاه ۲ (مقابل کوره ذوب)				ایستگاه ۳ (ذوب ریزی و قالب گیری)				ایستگاه ۴ (پرداخت قطعات)				ایستگاه ۵ (انبار قطعات)		
		DM1	DM2	DM3		DM1	DM2	DM3		DM1	DM3	DM2		DM2	DM1	DM3		DM3	DM2	DM1
شاخصهای مربوط به ویژگیهای شغل (**C1**)	C1.1	M	H	M		M	ML	L		L	ML	L		ML	MH	M		M	ML	L
	C1.2	M	M	M		H	VH	H		VH	H	H		M	M	L		H	L	M
	C1.3	H	M	M		M	H	M		M	MH	M		MH	H	H		MH	M	M
شاخصهای مربوط به ویژگیهای محیط (**C2**)	C2.1	26 ºC				34 ºC				35 ºC				32 ºC				25 ºC		
	C2.2	60 %				42 %				43 %				36 %				59 %		
	C2.3	0.8 m/s				0.6 m/s				0.5 m/s				0.55 m/s				0.4 m/s		
	C2.4	29 ºC				41 ºC				43 ºC				34 ºC				28 ºC		
شاخصهای مربوط به ویژگیهای کارگر (**C3**)	C3.1	H	H	M		H	MH	H		M	H	M		M	M	H		M	M	M
	C3.2	L	L	ML		L	ML	L		M	L	L		L	M	L		M	ML	L
	C3.3	L	L	L		L	M	M		M	L	M		ML	L	L		L	VL	L

DM1، DM2، DM3: اعضای تیم ارزیابی

C1: متغیرهای شغلی، C2: متغیرهای محیطی، C3: متغیرهای مربوط به کارگر

C1.1: ماهیت کار، C1.2: شدت کار، C1.3: مدت زمان انجام کار

C2.1: دمای خشک، C2.2: رطوبت نسبی، C2.3: سرعت جریان هوا ، C2.4: دمای گویسان

C3.1: مهارت و تجربه، C3.2: آموزش، C3.3: وسایل حفاظت فردی

VH،…، VL: متغیرهای زبانی مورد استفاده جهت ارزیابی مولفه های استرس گرمایی (VL: خیلی ضعیف، L: ضعیف، ML: تا حدودی ضعیف، M: متوسط، MH: تا حدودی خوب، H: خوب، VH: خیلی خوب)

ضریب همبستگی بدست آمده (r=0.97) نشان دهنده ارتباط مستقیم و قوی بین شاخص WBGT و شاخص شباهت (CC) می باشد (۲۳). هر چند که در شاخص WBGT اصولا سه متغیر (به صورت مستقیم) مورد ارزیابی قرار می گیرند (هر چند که اثر متغیرهایی نظیر لباس، متابولیسم، سازش، سرعت جریان هوا و چرخه کار و استراحت نیز بعدا دخالت داده می شوند)، ولی در روش پیشنهادی در این مطالعه ۱۰ متغیر مورد بررسی قرار گرفتند، که ضریب همبستگی پیرسون بدست آمده صحت نتایج روش پیشنهادی را با توجه با شاخص استاندارد WBGT تایید می کند. منظور از سه متغیر (دمای خشک، گویسان و دمای تر)، استفاده مستقیم این سه متغیر در تعیین WBGT می باشد (۳۷). هر چند تصحیحات مربوط به لباس، متابولیسم، سازش، سرعت جریان هوا و چرخه کار و استراحت نیز در تعیین شاخص WBGT دخالت داده می شوند، اما بایستی یاد آوری شود که در مورد متغیرهایی نظیر متابولیسم که پنج محدوده (Resting M < 65, 65 < M < 130, 130 < M < 200, 200 < M < 260, M > 260) جهت ارزیابی ریسک تعیین شده است، احتمال خطا در ارزیابی به خصوص در محدوده های مرزی تقسیم بندی وجود دارد (از این پدیده تحت عنوان cliff edge effect یاد می شود) (38). این در حالی است که با استفاده از مجموعه های فازی در روش پیشنهادی در این مطالعه، این محدودیت مرتفع گردید. در مورد تصحیحات مربوط به لباس، استاندارد ISO 7243 تصحیحات خاصی برای لباس در نظر نگرفته است (البته ISO 9920 جزئیات دقیق تری جهت بازتاب اثر لباس ارائه داده است) ، هر چند در حدود مجاز (TLV) ارائه شده توسط ACGIH برای ارزیابی استرس گرمایی در قالب شاخص WBGT تحیحاتی برای اثر لباس در نظر گرفته شده است، لیکن هیچ گونه اتفاق نظری در این که روند اندازه گیری و محاسبه تعریف شده در این دو استاندارد (WBGT TLV و ISO 7243) یکسان باشد وجود نداشته، ضمن اینکه مقادیر مرجع (راهنمای) ارائه شده توسط AC-GIH برای WBGT مشابه مقادیر ISO 7243 می باشد (۳۵, ۳۶).

علاوه بر این، شاخص WBGT توانایی محاسبه (مقایسه و اولویت بندی) ریسک برای دو محیط دارای WBGT یکسان را دارا نمی باشد. این ویژگی که از آن تحت عنوان Adaptive Opportunity از آن یاد می شود می تواند یکی از محدودیتهای شاخص WBGT باشد. این در حالی است که با استفاده از شاخص شباهت در این مطالعه این محدودیت نیز قابل حل می باشد.

از آنجایی که عوامل مختلفی می توانند بر ریسک حاصل از استرس گرمایی در محیطهای کاری گرم دخالت داشته باشند؛ لذا استفاده از یک

جدول ۶- اوزان مربوط به شاخصهای اصلی و زیر شاخصهای ارزیابی ریسک استرس گرمایی

شاخص	C1	C2	C3	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C2.4	C3.1	C3.2	C3.3
وزن موضعی	-	-	-	0.145	0.616	0.239	0.379	0.143	0.271	0.207	0.563	0.289	0.148
وزن کل	0.279	0.526	0.195	0.033	0.128	0.054	0.235	0.089	0.166	0.127	0.091	0.051	0.026

جدول ۷- شاخص شباهت و WBGT و اولویت ریسک هر یک از ایستگاههای کاری

	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵	
شاخص شباهت	0.35	0.31	0.30	0.34	0.37	r=0.97
اولویت ریسک	4	2	1	3	5	
شاخص WBGT(°C)	22.40	27.70	29.70	24.20	21.70	
اولویت ریسک	4	2	1	3	5	

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

شاخص واحد که بتواند یک و یا چند متغیر محیطی و یا فیزیولوژیک را در هم ادغام نموده و یک شاخص جهت ارزیابی ریسک اینگونه محیطها ارائه دهد، بسیار سخت و مشکل می باشد (۳۶،۳۵). روش ارائه شده در این تحقیق که بر مبنای روشهای تصمیم گیری چند متغیره (MCDM) می باشد، این امکان را فراهم می آورد تا اثر سایر متغیرهای موثر بر ارزیابی ریسک محیطهای گرم در فرایند ارزیابی دخیل گردیده و با روش وزن دهی استفاده شده (FAHP) امکان تعیین اهمیت هر یک از متغیرها میسر می گردد. علاوه بر این، به منظور اولویت بندی ریسک ایستگاههای کاری ازروش FTOPSIS استفاده شد، که بر مبنای نزدیکی به حالت ایده آل و دوری از حالت غیر ایده آل به اولویت بندی گزینه های مورد بررسی اقدام می کند. با توجه به این ویژگی و هم چنین استفاده از تئوری فازی در این مطالعه، امکان بررسی همزمان میزان تاثیر متغیرهای کمی (متغیرهای محیطی که توسط دستگاه قابل اندازه گیری هستند) و کیفی (نظیر سختی کار و مهارت و تجربه فرد) امکان پذیر شده است. در مجموع می توان برتری روش ارائه شده نسبت به سایر شاخصهای ارائه شده برای ارزیابی استرس گرمایی را به صورت زیر بیان نمود:

- ✓ تعیین تاثیر همزمان چندین متغیر و تعیین میزان اهمیت هر یک از متغیرها
- ✓ در نظر گرفتن تاثیر همزمان متغیرهای کمی و کیفی
- ✓ به حداقل رساندن خطای ناشی از استفاده از اعداد غیر قابل انعطاف جهت مرز بندی متغیرهای کمی (فیزیکی) در ارزیابی ریسک کلی با استفاده از تئوری فازی

از آنجایی که قضاوتهای اخذ شده در این تحقیق بر اساس نظرات ذهنی (سوبژکتیو) افراد بوده و نتیجه نهایی ارزیابی می تواند تحت تاثیر این ذهنی بودن قرار گیرد، لذا پیشنهاد می گردد در تحقیقات آتی از روشهای وزن دهی عینی (نظیر آنتروپی شانون) استفاده شده و نتایج ارزیابی ارتقاء داده شوند. هم چنین جهت کاهش خطای ناشی از اثرات مثبت و یا منفی هر یک از جنبه ها، پیشنهاد می شود هر یک از متغیرهای فرعی خود نیز به چند متغیر فرعی تر تقسیم بندی گردند تا این خطا کاهش یابد (بعنوان مثال، وسایل حفاظت فردی به زیر مجموعه هایی نظیر مدت زمان استفاده، محدودیت در حرکت، سنگینی، سهولت در استفاده و ... تقسیم بندی گردند تا اثر مثبت و یا منفی هر یک از جنبه ها واقعی تر بازتاب داده شوند).

REFERENCES

1. Zhao J, Zhu N, Lu S. Productivity model in hot and humid environment based on heat tolerance time analysis. Building and environment. 2009;44(11):2202-7.
2. Wang F, Kuklane K, Gao C, Holmér I. Can the PHS model (ISO7933) predict reasonable thermophysiological responses while wearing protective clothing in hot environments? Physiological measurement. 2010;32(2):239.
3. Freire RZ, Oliveira GH, Mendes N. Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings. Energy and buildings. 2008;40(7):1353-65.
4. Taylor NA. Challenges to temperature regulation when working in hot environments. Industrial health. 2006;44(3):331-44.
5. Bhanarkar A, Srivastava A, Joseph A, Kumar R. Air pollution and heat exposure study in the workplace in a glass manufacturing unit in India. Environmental monitoring and assessment. 2005;109(1-3):73-80.
6. Sawka M, Wenger C, Montain S, Kolka M, Bettencourt B, Flinn S, et al. Heat stress control and heat casualty management. ARMY RESEARCH INST OF ENVIRONMENTAL MEDICINE NATICK MA; 2003.
7. Epstein Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. Industrial health. 2006;44(3):388-98.
8. Brake R, Bates G. A valid method for comparing rational and empirical heat stress indices. Annals of occupational hygiene. 2002;46(2):165-74.
9. Haldane J. The influence of high air temperatures No. I. Epidemiology & Infection. 1905;5(4):494-513.
10. Houghten FC. Determining lines of equal comfort. ASHVE Transactions. 1923;29:163-76.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

11. Dufton A. The eupatheostat. Journal of scientific instruments. 1929;6(8):249.
12. Belding H, Hatch T. Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains. Heating, piping and air conditioning. 1955;27(8):129-36.
13. Yaglou C, Minaed D. Control of heat casualties at military training centers. Arch Indust Health. 1957;16(4):302-16.
14. Thom EC. The discomfort index. Weatherwise. 1959;12(2):57-61.
15. Standardization IOf. Hot Environments: Analytical Determination and Interpretation of Thermal Stress Using Calculation of Required Sweat Rates: International Organization for Standardization; 1986.
16. Gagge AP, Fobelets A, Berglund L. A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Trans;(United States). 1986;92(CONF-8606125).
17. Frank A, Moran D, Epstein Y, Shapiro Y. The estimation of heat tolerance by a new cumulative heat strain index. 1996.
18. 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.
19. Moran D, Shapiro Y, Epstein Y, Matthew W, Pandolf K. A modified discomfort index (MDI) as an alternative to the wet bulb globe temperature (WBGT). Environmental Ergonomics VIII, Hodgdon JA, Heaney JH, Buono MJ (Eds). 1998:77-80.
20. Moran DS, Pandolf KB, Shapiro Y, Heled Y, Shani Y, Mathew W, et al. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). Journal of thermal biology. 2001;26(4-5):427-31.
21. Wallace RF, Kriebel D, Punnett L, Wegman DH, Wenger CB, Gardner JW, et al. The effects of continuous hot weather training on risk of exertional heat illness. Medicine and science in sports and exercise. 2005;37(1):84-90.
22. Golbabaei F, Mazloumi A, Mamhood Khani S, Kazemi Z, Hosseini M, Abbasinia M, et al. The Effects of Heat Stress on Selective Attention and Reaction Time among Workers of a Hot Industry: Application of Computerized Version of Stroop Test. Health and Safety at Work. 2015;5(1):1-10.
23. Yeganeh R, Abbasi J, Dehghan H. Evaluation of Relationship Among Wet Bulb Globe Temperature index, Oral Temperature & Heat Strain Scoring Index In Bakers of Isfahan. J Health Syst Res. 2014;3(10):599-607.
24. Negahban A, Aliabadi M, Mesdaraghi YB, Farhadian M, Jalali M, Kalantari B, et al. Investigating the association between heat stress and its psychological response to determine the optimal index of heat strain. Muhandisī-i bihdāsht-i ḥirfah/ī. 2014;1(1):8-15.
25. Dehghan H, Mortzavi SB, Jafari MJ, Maracy MR. The reliability and validity of questionnaire for preliminary assessment of heat stress at workplace. ISMJ. 2015;18(4):810-26.
26. Heating ASo, Refrigerating, Engineers A-C. Thermal environmental conditions for human occupancy: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2004.
27. Fanger P. Moderate thermal environments Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. ISO 7730. 1984.
28. Fanger PO. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Thermal comfort Analysis and applications in environmental engineering. 1970.
29. Hwang R-L, Cheng M-J, Lin T-P, Ho M-C. Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant's idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot–humid regions. Building and Environment. 2009;44(6):1128-34.
30. Champoux D, Brun J-P. Occupational health and safety management in small size enterprises: an overview of the situation and avenues for intervention and research. Safety science. 2003;41(4):301-18.
31. Mearns K, Whitaker SM, Flin R. Safety climate, safety management practice and safety performance in offshore environments. Safety science. 2003;41(8):641-80.
32. Saaty TL. Decision making with the analytic hierarchy process. International journal of services sciences. 2008;1(1):83-98.
33. Hwang CL Y. Multipleattributedecisionmaking: methodsandapplications. Germany: Springer; 1981.
34. Prakash C, Barua M. Integration of AHP-TOPSIS method for prioritizing the solutions of reverse logistics adoption to overcome its barriers under fuzzy environment. Journal of Manufacturing Systems. 2015;37:599-615.
35. RAMIN M, GOLBABAEI F, KAKAEI H, GHASEMI R. Review of Occupational Heat Stress over the Past 50 Years in Iran. International Journal of Occupational Hygiene. 2017;8(3):179-85.
36. Monazzam MR, Golbabaei F, Hematjo R, Hosseini M, Nassiri P, Dehghan SF. Evaluation of DI, WBGT and Swreq/PHS heat stress indices for estimating the heat load on the employees of a petrochemical industry. International Journal of Occupational Hygiene. 2014;6(1):6-10.
37. Hajizadeh R, Golbabaie F, Monazam Esmaielpour 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.
38. Parsons K. Heat stress standard ISO 7243 and its global application. Industrial health. 2006;44(3):368-79.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]

Risk assessment of heat stress using the AHP and TOPSIS methods in fuzzy environment- A case study in a foundry shop

Farideh Golbabaie[1], Mohsen Omidvar[2,*], Fereshteh Nirumand[3]

[1] Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] Assistant Professor, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran
[3] B.Sc., University of Applied Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Working in hot and harsh weather conditions can cause heat related diseases and in some cases, even can lead to death. Risk assessment of heat stress in these environments is of particular importance. As there are many factors that could affect the heat stress, therefore, an index should be applied that could properly reflect the effect of all of these factors.

Material and Method: Initially a five-member expert team was established. Then, the weight of each variable was determined by the fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) method. In next step, five work stations of the casting process evaluated applying fuzzy TOPSIS (FTOPSIS) method and the risk of heat stress prioritized in these stations. Lastly, the Pearson's correlation coefficient was used to determine correlation between the results of proposed method with WBGT index.

Result: The weights of three main variables including task characteristics, working environment, and worker characteristics was determined as 0.279, 0.526, and 0.195. The risk priority of the five work stations including, stocking, melting furnace, pouring and casting, polishing, and warehousing was established as S1= 4, S2= 2, S3= 1, S4= 3, and S5= 5. The Pearson's correlation coefficient between the similarity index (CCi) and WBGT was 0.97.

Conclusion: From three main variables that can affect the heat stress, "Working Environment" has main impact in the risk assessment process; therefore, the most efforts must be focused on controlling this variable. The proposed method in this study has the capability of concurrent quantitative and qualitative assessment of factors that could affect the heat stress and can minimize the uncertainties in the risk assessment process relying upon the fuzzy sets.

Key words: *Heat Stress, Risk Assessment, Analytical Hierarchy Process, TOPSIS, Fuzzy Theory*

* Corresponding Author Email: *m.omidvar@bpums.ac.ir*

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-05-21]