

بررسی میدانی اثرات استفاده از سیستم های سرمایش انفرادی در محیط خواب بر شرایط آسایش حرارتی افراد و درصد ناراضی ناشی از کوران

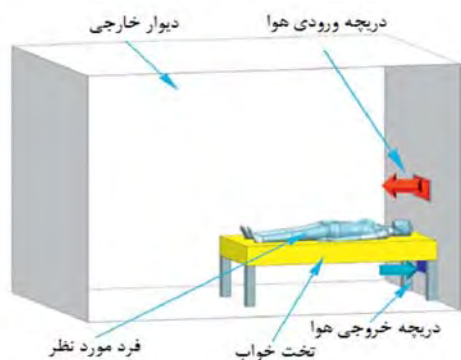
سید علیرضا ذوالفقاری، استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند؛ zolfaghari@birjand.ac.ir

سید محمد هوشمند، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند؛ mo_ho321@yahoo.com

علی فوادالدینی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند؛ ali.foad7@gmail.com

چکیده

استفاده از این نوع سیستم‌ها در محیط‌های یاد شده می‌تواند با مصرف انرژی کمتر به شرایط مطلوب حرارتی برای هر یک از ساکنان دست یافت. در شکل ۱ نمونه‌ای از یک سیستم تهویه انفرادی نشان داده شده است.



شکل ۱: سیستم تهویه انفرادی

هدف از انجام این تحقیق، بررسی عملکرد سیستم سرمایش انفرادی مخصوص محیط خواب بر آسایش حرارتی افراد و میزان ناراضی ناشی از کوران می‌باشد. برای این منظور مدل‌سازی عددی معادلات حاکم بر جریان در یک اتاق خواب نمونه به اجرا در آمده و حل آن به کمک حلگر عددی اوپن‌فوم صورت گرفته است. در تحقیق حاضر مدل‌سازی‌های عددی براساس دما و دبی‌های ورودی مختلف برای جریان ورودی هوا از دریچه سرمایش انفرادی انجام شده و در هر حالت آسایش حرارتی فرد و میزان ناراضی ناشی از کوران محاسبه شده است. نتیجه تحقیق نشان می‌دهد که هدر فضای نمونه حاضر بهترین شرایط آسایش حرارتی در دمای هوای ورودی ۲۳ درجه سلسیوس و دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه به دست می‌آید. با این حال برای رسیدن به شرایط مطلوب‌تر توصیه می‌شود که محل دریچه‌ها و یا تخت خواب تغییر داده شود.

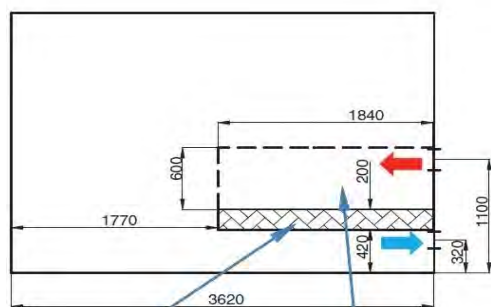
واژه های کلیدی

سیستم سرمایش انفرادی، شرایط آسایش حرارتی، ناراضی ناشی از کوران، محیط خواب.

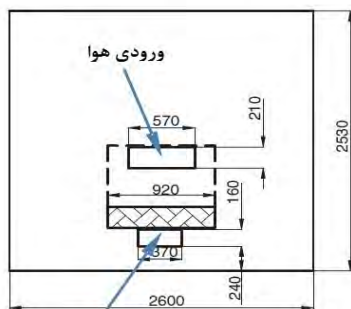
مقدمه

با توجه به محدود بودن دامنه‌ی حرکتی در ادارات و مراکز آموزشی و تاثیر پذیری این مکان‌ها از پنجره‌ها و تابش آفتاب و سایر اثرات استفاده از این نوع سیستم تهویه مطبوع کمک قابل توجهی به تامین شرایط حرارتی مطلوب برای ساکنان می‌نماید. با توجه به سابقه کم این نوع سیستم‌ها تحقیقات انجام گرفته در زمینه آن‌ها نیز چندان گسترده نیست. ملیکوف [۲] در سال ۲۰۰۴ نشان داد که در سیستم‌های تهویه انفرادی سرعت وزش هوای بالاتر از ۳ متر بر ثانیه موجب بروز ناراضی‌های حرارتی در افراد می‌شود. کازمارزیک و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۴ در تحقیقی تجربی به بررسی واکنش ۳۰ نفر از ساکنان یک محیط اداری نسبت به دو نوع سیستم تهویه انفرادی و تهویه اختلاطی پرداخته و این دو سیستم را مقایسه کردند. این مقایسه بیان‌گر این موضوع بود که سیستم تهویه انفرادی در مقایسه با تهویه اختلاطی، کیفیت هوای استنشاقی را به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌بخشد و همچنین باعث کاهش شدید علائم سندروم ساختمان بیمار می‌شود. در سال ۲۰۰۵ سیکار و همکاران [۴] به بررسی احساس افراد فاقد تطابق با نواحی گرمسیری نسبت به جریان هوای به کار رفته به صورت موضعی از دستگاه‌های پایانه تخلیه هوای تهویه انفرادی پرداختند. نتایج نشان داد که درصد زیادی از افراد در هر دو مقادیر سرعت پایین و بالای هوا ناراضی بودند، آن‌ها محدوده‌ی سرعت قابل قبول را ۰/۳ تا ۰/۹ متر بر ثانیه تشخیص دادند. سان و همکاران [۱] در سال ۲۰۰۷ با آزمایش انسان و آدمک حرارتی، یک دستگاه پایانه هوا به شکل یک صفحه‌ی متخلخل دایروی برای یک سیستم تهویه انفرادی را که تحت دو سطح مختلف از شدت اغتشاشات کار می‌کرد، مورد بررسی قرار دادند. نتایج

امروزه اهمیت سیستم‌های تهویه مطبوع بر کسی پوشیده نیست. این سیستم‌ها به منظور تامین بار حرارتی و برودتی ساختمان عمل می‌کنند. در طراحی این نوع سیستم‌ها با تمرکز بر جبران کردن اتلافات حرارتی ساختمان، شرایط آسایش حرارتی ساکنان را در نظر گرفته نمی‌شود. در نتیجه این سیستم‌ها دارای توانایی ایجاد آسایش حرارتی برای همه ساکنان نیستند. یعنی تفاوت در میزان پوشش لباس و شرایط خاص هر فرد باعث می‌شود که سیستم‌های تهویه نتوانند در سرمایش و گرمایش شرایط حرارتی مناسبی را برای همه افراد به وجود آورند. در نتیجه در سال‌های اخیر ایده‌های جدید در این زمینه مطرح شده است که بر اساس آن سیستم‌های تهویه مطبوع به جای تمرکز بر جبران بارهای ساختمان به تامین شرایط آسایش حرارتی برای ساکنان می‌پردازد. این نوع سیستم‌های تهویه مطبوع به عنوان سیستم سرمایش و یا گرمایش انفرادی شناخته می‌شوند. در این نوع سیستم‌ها در نزدیکی محل قرار گرفتن هر یک از ساکنان ساختمان دریچه‌هایی تعبیه می‌شود تا هوا را با سرعت و دمای مناسب وارد محیط نمایند. با این کار به جای مطبوع ساختن هوای کل ساختمان، شرایط مطلوب تنها در نزدیکی محل قرار گرفتن ساکنان تامین شده و مصرف انرژی ساختمان کاهش پیدا خواهد نمود. بدیهی است کاربرد این نوع سیستم‌ها مربوط به ساختمان‌هایی می‌باشد که در آن محل استقرار ساکنان ثابت می‌باشد، مانند ساختمان‌های اداری و آموزشی. در نتیجه با



الف: نمای جانبی

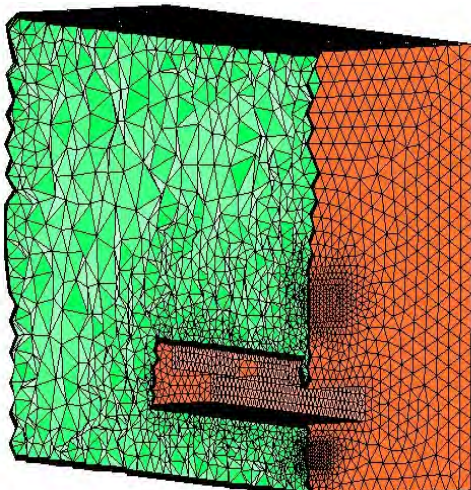


ب: نمای رو به رو

شکل ۲: نمای کلی هندسه اتاق

شبکه بندی

در مدل سازی فضای نمونه تعداد نقاط شبکه برابر ۲۹۸۴۳۱ عدد می باشد. شکل ۳ نمای کلی شبکه بندی فضای نمونه را نشان می دهد.



شکل ۳: نمای کلی شبکه بندی فضای نمونه

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر این مدل سازی شامل پایستگی جرم، مومنتوم و انرژی است.

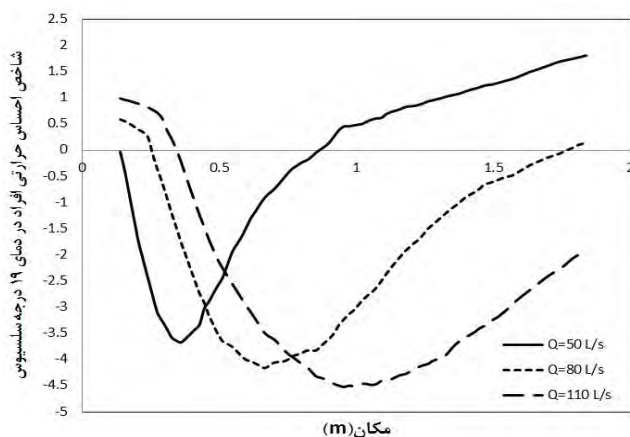
این تحقیق حاکی از آن بود که هر چه شدت اغتشاشات جریان وزشی در سیستم تهویه ای انفرادی کمتر باشد، می توان اندازه سرعت هوای وزشی را به میزان بیشتری افزایش داد. همچنین، یانگ و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۰ یک سیستم تهویه ای انفرادی کنترل شده توسط شخص و سقف آویز را به منظور فراهم کردن آسایش حرارتی و هوای تازه بدون تأثیرگذاری روی زیبایی داخلی، توسعه دادند. آن ها از یک مانکن حرارتی جهت ارزیابی توانایی سیستم در خنک کردن افراد استفاده کردند. آن ها دریافتند که دمای هوای خروجی مناسب از سیستم تهویه ای انفرادی و اتاق برابر ۲۳/۵ درجه سلسیوس بوده و نرخ جریان هوا در محدوده ۴ تا ۱۶ لیتر بر ثانیه برای هر فرد متغیر می باشد. در این میان تحقیقات اندکی بر روی کاربرد سیستم های سرمایش انفرادی در محیط خواب صورت گرفته است. در سال ۲۰۱۴، نینگ و همکاران [۶] به بررسی تأثیرات محل تخت خواب، دریاچه های خروجی و دبی و دمای هوای ورودی بر توزیع سرعت و فشار پرداختند.

در تحقیق حاضر سعی داریم ضمن مدل سازی جریان در یک سیستم تهویه ای انفرادی اثرات نارضایتی مربوط به کوران را بر محیط خواب در فصل تابستان و با مفروضات مرجع [۶] بررسی نماییم. با توجه به این که در سرمایش انفرادی، سرمایش به صورت محلی صورت می گیرد در مدل سازی های عددی می بایست به نقش جزئیات هندسه توجه بیشتری کرد. از این رو در تحقیق حاضر حضور انسان مورد توجه قرار گرفته است.

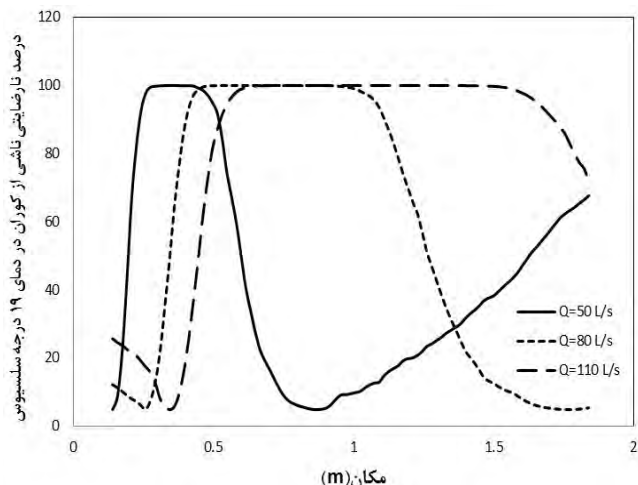
فضای نمونه

فضای نمونه در تحقیق حاضر اتاقی با طول، عرض و ارتفاع ۳،۶۲، ۲،۶ و ۲،۵۳ متر می باشد. تخت خواب در یک سمت اتاق قرار دارد و دریاچه ای به ابعاد ۲۱×۵۷ سانتی متر روی دیوار و در ارتفاع ۲۰ سانتی متری بالای تخت خواب تعبیه شده است. جریان هوا با دما و دبی های مختلفه داخل اتاق و درون محیط اشغال شده توسط فرد و دیده می شود. همچنین حضور انسان به صورت هندسه ساده ای در روی تخت خواب در نظر گرفته شده است. یک دریاچه خروجی به ابعاد ۱۶×۳۷ سانتی متر بود و دمای دیوارها ۲۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ نمای کلی هندسه اتاق نشان داده شده است.

درجه سلسیوس می‌باشد. همچنین سرعت جریان هوای مطلوب در بازه‌ی ۰/۱ تا ۱/۵ متر بر ثانیه قرار می‌گیرد. بر این اساس، به منظور تعیین دقیق‌تر شرایط حرارتی مطلوب برای سیستم سرمایش انفرادی لازم است تا شرایط آسایش حرارتی افراد تحت دبی و دماهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب شاخص احساس حرارتی افراد و درصد ناراضی ناشی از کوران در دمای ۱۹ درجه سلسیوس برای دبی‌های ورودی مختلف نشان داده شده است. محور افقی نمودار در شکل ۴ و ۵ فاصله بین سر تا انتهای پا در محل قرارگیری فرد را در بر می‌گیرد.



شکل ۴: تغییرات شاخص احساس حرارتی در دمای ۱۹ درجه سلسیوس به ازای دبی‌های ورودی مختلف



شکل ۵: تغییرات درصد ناراضی ناشی از کوران در دمای ۱۹ درجه سلسیوس به ازای دبی‌های ورودی مختلف

در شکل ۶ به ترتیب شاخص احساس حرارتی افراد و درصد ناراضی ناشی از کوران در دمای ۲۱ درجه سلسیوس برای دبی‌های ورودی مختلف نشان داده شده است.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (u_j u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(v_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \pm \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} - g_i \beta (T - T_{ref}) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(v_{eff} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

برای پیش‌بینی پاسخ حرارتی بدن به شرایط محیطی نیاز به مدل آسایش حرارتی با صحت عملکرد و دقت کافی است. یکی از مدل‌های پرکاربرد و قابل اتکا در زمینه مدل‌سازی احساس حرارتی افراد، مدل آسایش حرارتی فننگر [۷] است. این مدل در استانداردهای تأسیساتی ایزو ۷۷۳۰ [۸] و اشری ۵۵ [۹] و به عنوان مدل استاندارد آسایش حرارتی معرفی شده است. در مدل فننگر [۷]، معادله‌ی موازنه انرژی برای بدن انسان در شرایط پایا نوشته می‌شود و اختلاف میان تولید و اتلاف حرارت از بدن، به عنوان عامل تعیین‌کننده‌ی شرایط حرارتی بدن تعریف می‌شود:

$$L = (M - W) - (Q_k + Q_c + Q_r + Q_e - Q_{res}) \quad (4)$$

که M نرخ متابولیک، W کار انجام شده توسط شخص، Q_k ، Q_c ، Q_r و Q_e به ترتیب اتلاف حرارت توسط سازوکارهای هدایت، جابه‌جایی، تابش و تبخیر و Q_{res} اتلاف حرارت از طریق تنفس (همگی بر حسب W/m^2) است. بر این اساس فننگر رابطه‌ی تجربی زیر را برای ارزیابی احساس حرارتی فرد پیشنهاد می‌کند:

$$PMV = [0.3 \exp(-0.36M) + 0.28] L \quad (5)$$

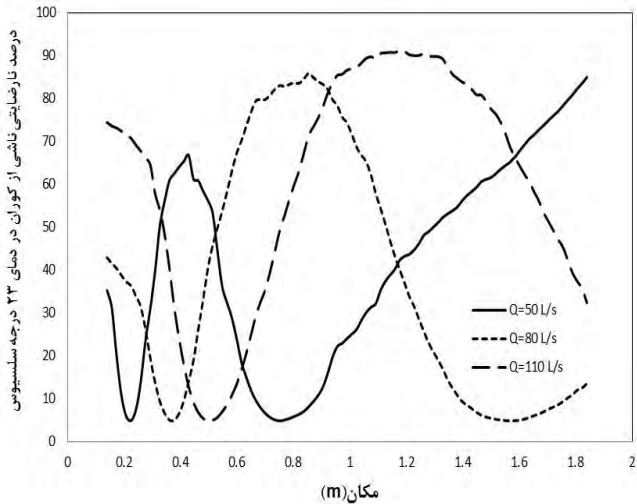
شاخص PMV بیانگر احساس حرارتی افراد است. همچنین استاندارد ایزو ۷۷۳۰ معرف محدوده‌ی $-0.5 \leq PMV \leq 0.5$ به عنوان محدوده‌ی مجاز برای شرایط آسایش حرارتی است. [۸] در این شرایط میانگین میزان ناراضی حرارتی افراد نسبت به محیط، از ۱۰٪ فراتر نخواهد رفت. [۸] فننگر درصد ناراضی ناشی از وزش در ناحیه سرو گردن را PD نامید و آن را طبق رابطه (۶) بیان کرد:

$$PD = (34 - t_a) (\bar{V} - 0.05)^{0.6223} (3 / 314 + 0.3696 \bar{V} T I) \quad (6)$$

PD درصد ناراضی، t_a دمای هوا (درجه سلسیوس)، \bar{V} سرعت متوسط هوا (m/s) و TI شدت اغتشاش جریان هوای وزشی است. بر طبق استاندارد ایزو ۷۷۳۰ [۸]، مقدار ناراضی ناشی از کوران کمتر از ۱۰٪ به عنوان محدوده‌ی مجاز به لحاظ شرایط آسایش افراد معرفی شده است. آوبی [۱۰] نیز به منظور پیش‌بینی درصد ناراضی ناشی از پدیده‌ی سرمایش موضعی، نمودارهایی را ارائه کرده‌اند که به کمک آنها می‌توان شدت اغتشاش جریان را به یک سرعت متوسط معادل تبدیل کرده و از این سرعت متوسط معادل در مدل آسایش حرارتی فننگر استفاده کرد.

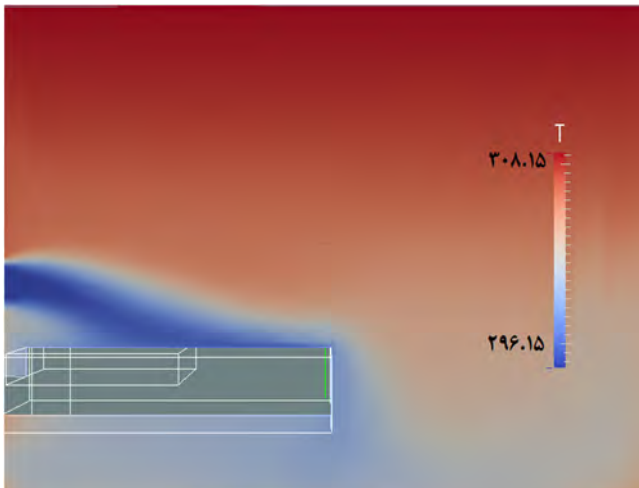
نتایج

در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر دما و دبی هوای ورودی بر آسایش حرارتی و درصد ناراضی ناشی از کوران پرداخته شده است. دماها و دبی‌های هوای ورودی به فضای نمونه بر اساس مفروضات مرجع [۶] می‌باشند. طبق استانداردهای آسایش حرارتی، دمای آسایش در تابستان در بازه ۲۳ تا ۲۶



شکل ۹: تغییرات درصد ناراضی ناشی از کوران در دمای ۱۹ درجه سلسیوس به ازای دبی‌های ورودی مختلف

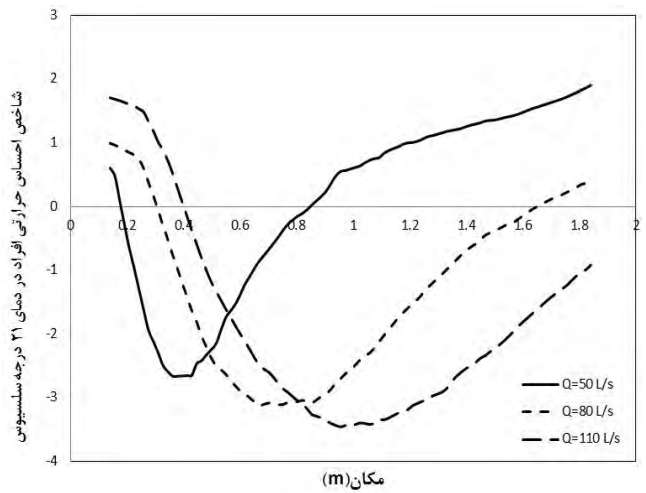
در شکل ۱۰ نمای گرافیکی توزیع دما برای دمای ۲۳ درجه سلسیوس و دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه در مقطع عرضی فضای نمونه نشان داده شده است.



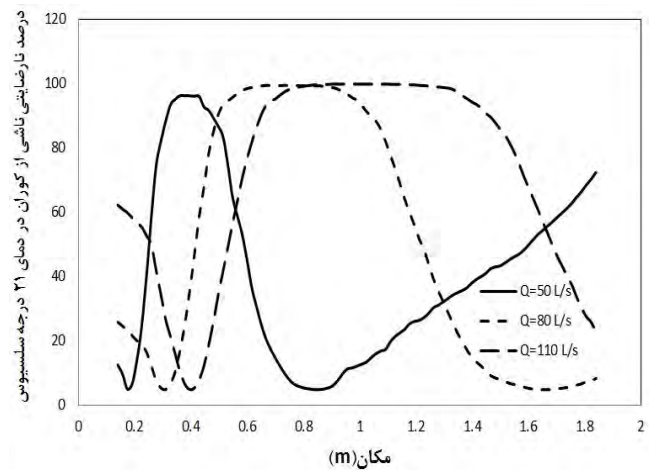
شکل ۱۰: نمای گرافیکی توزیع دما برای دمای ۲۳ درجه سلسیوس و دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه در مقطع عرضی فضای نمونه

نتیجه گیری

نتایج حاصله از مدل سازی نشان می‌دهد که می‌توان با تغییر دما و دبی هوای ورودی از درجه سیستم تهویه انفرادی، شاخص آسایش حرارتی و درصد ناراضی ناشی از کوران را کنترل کرد. همان طور که نتایج تحقیق نشان داده است، دمای ۲۳ درجه سلسیوس و دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه مطلوب‌ترین وضعیت از نظر شاخص آسایش حرارتی و درصد ناراضی ناشی از کوران را دارد. با این حال به علت هندسه خاص مسئله امکان فراهم کردن شرایط مطلوب به لحاظ آسایش حرارتی وجود ندارد. پیشنهاد می‌شود برای بهبود شاخص احساس حرارتی و کنترل پذیری آن به وسیله دما و دبی

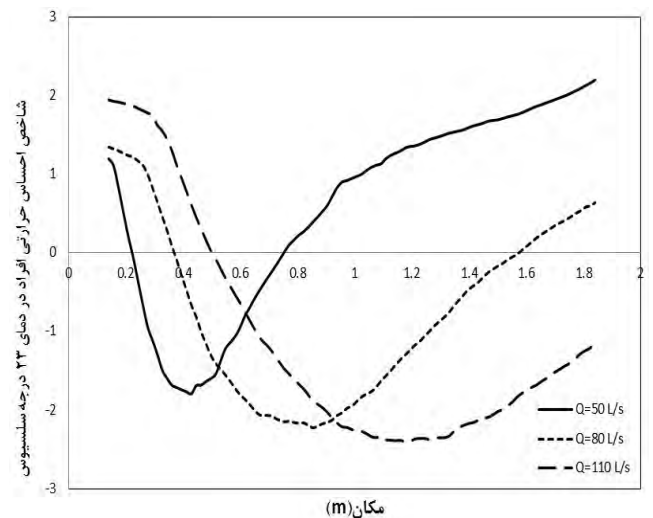


شکل ۶: تغییرات شاخص احساس حرارتی در دمای ۲۱ درجه سلسیوس به ازای دبی‌های ورودی مختلف



شکل ۷: تغییرات درصد ناراضی ناشی از کوران در دمای ۱۹ درجه سلسیوس به ازای دبی‌های ورودی مختلف

در شکل ۹و۸ به ترتیب شاخص احساس حرارتی افراد و درصد ناراضی ناشی از کوران در دمای ۲۳ درجه سلسیوس برای دبی‌های ورودی مختلف نشان داده شده است.



شکل ۸: تغییرات شاخص احساس حرارتی در دمای ۲۳ درجه سلسیوس به ازای دبی‌های ورودی مختلف

- [4] S. C. Sekhar, N. Gong, K. W. Tham, K.W. Cheong, A. K. Melikov, D. P. Wyon, P. O. Fanger, "Findings of personalized ventilation studies in a hot and humid climate," *HVAC&R Research*, Vol. 11, pp. 603-620, 2005.
- [5] B Yang, S. C. Sekhar, A. K. Melikov, "Ceiling mounted personalized ventilation system in hot and humid climate—An energy analysis," *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp. 2304-2308, 2010
- [6] M. Ning, P. Dongmei, C. Mingyin, D. Shiming., "Experimental and numerical studies on the performance evaluation of a bed-based task/ambient air conditioning (TAC) system," *Applied Energy*, Vol. 136, pp. 956-967, 2014.

ورودی محل دریچه های ورودی و خروجی را تغییر داده و از هندسه مناسب تری بهره گرفته شود.

فهرست علائم

M	نرخ متابولیک (سوخت و ساز) بدن، (W/m^2)
PD	شاخص درصد ناراضایتی حرارتی، (/.)
PMV	میانگین احساس حرارتی افراد، (بی بعد)
Q_c	اتلاف حرارت توسط ساز و کار جابجایی، (W/m^2)
Q_r	اتلاف حرارت توسط ساز و کار تابش، (W/m^2)
Q_{res}	اتلاف حرارت از طریق تنفس، (W/m^2)
Q_s	اتلاف حرارت توسط ساز و کار تیخیر، (W/m^2)
t_a	دمای هوا، ($^{\circ}C$)
TI	درصد شدت اغتشاش، (/.)
V	سرعت، (m/s)
W	نرخ کار خارجی، (W/m^2)

مراجع

- [1] W. Sun, K. W. Tham, W. Zhou, N. Gong, "Thermal performance of a personalized ventilation air terminal device at two different turbulence intensities," *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 3974-3983, 2007.
- [2] A. K. Melikov, "Personalized ventilation," *Indoor Air*, Vol. 14, pp. 157-167, 2004.
- [3] J. Kaczmarczyk, A. K. Melikov, P. O. Fanger., "Human response to personalized ventilation and mixing ventilation," *Indoor Air*, Vol. 14, pp. 17-29, 2004.
- [7] P. O. Fanger, *Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering*, New York, McGraw-Hill, 1970
- [8] ISO7730, *Moderate Thermal Environments: Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, International Standards Organization, 1994
- [9] ANSI/ASHRAE 55-2004, *Thermal environmental conditions for human occupancy*, Atlanta, ASHRAE, 2004
- [10] H.B. Awbi, *Ventilation of buildings*, E&FN Spon London, 1998
- [11] M. Ning, P. Dongmei, C. Mingyin, D. Shiming., "Thermal, ventilation and energy saving performance evaluations of aductless bed-based task/ambient air conditioning (TAC) system," *Energy and Buildings*, Vol. 66, pp. 297-305, 2013.