



## تأثیر جانمایی دریچه‌های هوای ورودی به اتوبوس بر مصرف انرژی با رعایت قید آسایش حرارتی

سید علیرضا ذوالفقاری<sup>1\*</sup>، حسن حسن‌زاده<sup>1</sup>، مرتضی طاهری<sup>2</sup>

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

2- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

\* zolfaghari@birjand.ac.ir, 97175-376، صندوق پستی

### چکیده

بررسی آسایش حرارتی در وسایل نقلیه عمومی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان رضایت‌مندی افراد در این محیط‌ها دارد. بر این اساس در پژوهش حاضر به بررسی شرایط آسایش حرارتی در یک اتوبوس مسافری پرداخته شده است و در میان عوامل مختلف تأثیرگذار بر آسایش حرارتی در این فضا، تأثیر شکل و محل دریچه‌های ورودی برای دستیابی به شاخص آسایش حرارتی مطلوب برای افراد نشسته مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور سه نوع دریچه ورودی متفاوت با مساحت و سرعت جریان هوای ورودی برابر در نظر گرفته شده است. نوع اول دایره‌ای شکل زیر صندلی‌ها، نوع دوم دریچه‌های نواری شکل روی کف و نوع سوم دریچه‌های نواری شکل روی بدنه در ارتفاع 0.2 متری از کف می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که برای دستیابی به شاخص آسایش حرارتی مطلوب، باید دما هوای ورودی برای دریچه‌های دایره‌ای 24.0 °C، دریچه‌های نواری کف 20.1 °C و دریچه‌های نواری روی بدنه 21.6 °C باشد که در نتیجه، برای سیستم سرمایش استفاده از دریچه‌های دایره‌ای شکل، به لحاظ مصرف انرژی مقرون به صرفه‌تر است. به منظور بررسی تأثیر ارتفاع بر شاخص آسایش حرارتی، اختلاف بین این شاخص در ارتفاع‌های 0.1 و 1.1 متری برای سه نوع دریچه ورودی متفاوت به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد، زمانی که از دریچه‌های نواری روی بدنه استفاده می‌شود، توزیع شرایط حرارتی روی بدن افراد یکنواخت‌تر خواهد بود.

کلید واژگان: سیستم تهویه، اتوبوس، آسایش حرارتی

## Effect of arrangement of inlet air valves in a bus on energy consumption with considering thermal comfort

Seyed Alireza Zolfaghari<sup>\*</sup>, Hassan Hassanzadeh, Morteza Taheri

Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

\* P.O.B. 97175-376, Birjand, Iran, zolfaghari@birjand.ac.ir

### ABSTRACT

Investigation on thermal comfort in a public transport has a significant impact on the satisfaction of this environment. Therefore, in this study, the thermal comfort conditions in a bus was investigated and among the different factors affecting on the thermal comfort in this space, the shape and the location of the inlet valves are studied in order to achieve optimum thermal comfort index for seated people. Hence, three different inlet valves with the same area and the same inlet air velocity was considered; circular cross-sections under each seat, rectangular valves on the floor and rectangular valves on the body and at the height of 0.2 meters from the floor. The results show that in order to achieve the optimal thermal comfort index, temperatures for circular air inlet must be 24.0 °C, for rectangular valves on the floor must be 20.1 °C and for the rectangular valve of the body must be 21.6 °C. These results suggest that the use of circular air inlet in the cooling system is more economical. To evaluate the effect of height on the thermal comfort index, the difference of the index was calculated with the height of 0.1 and 1.1 meters for three different inlet valves. The results show that by the use of rectangular valve on the body, the distribution of thermal conditions on the body of the passengers will be more uniform.

**Keywords:** Ventilation system, Bus, Thermal comfort

از پنجره‌ها و تفاوت‌های فیزیولوژیکی<sup>2</sup> و ذهنی و روانی مسافران با یکدیگر، بسیار پیچیده است [2].

مطالعات زیادی در مورد آسایش حرارتی در ساختمان‌ها انجام شده است ولی شرایط در فضاهای مسکونی با فضای اتوبوس به دلیل تراکم جمعیت، محدودیت فضا، میزان حرارت ورودی و بسته بودن در و پنجره‌ها متفاوت است [3]. لذا بحث آسایش حرارتی در وسایل نقلیه عمومی نیاز به مدل‌سازی و بررسی دقیق دارد. هدف از مقاله حاضر مدل‌سازی آسایش حرارتی در داخل اتوبوس با هدف انتخاب شکل و جانمایی مناسب دریچه‌های ورودی، جهت تأمین آسایش حرارتی معین با کمترین مصرف انرژی می‌باشد.

### 1- مقدمه

ایجاد شرایط آسایش حرارتی<sup>1</sup> مطلوب در وسایل نقلیه عمومی از جمله اتوبوس‌ها، باعث ارتقای سطح کیفیت و کارایی بالا می‌شود. بر این اساس در "شکل 1" عوامل مختلف تأثیرگذار بر آسایش حرارتی این قبیل وسایل عمومی نشان داده شده است. به طور کلی این عوامل را می‌توان به دو دسته عوامل محیطی و عوامل شخصی تقسیم‌بندی کرد، عوامل محیطی شامل درجه حرارت، سرعت هوا، رطوبت نسبی داخل و دمای تابش است و عوامل شخصی شامل میزان فعالیت و مقاومت حرارتی لباس است [1]. فراهم کردن آسایش حرارتی افراد در این فضاها، به دلیل هندسه پیچیده، تابش‌های شدید

<sup>2</sup> Physiologically

Please cite this article using:

S.A.Zolfaghari, H.Hassanzadeh, M.Taheri, Effect of arrangement of inlet air valves in a bus on energy consumption with considering thermal comfort, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 175-179, 2016 (in Persian فارسی)

<sup>1</sup> Thermal comfort

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

ورودی‌ها، مجراها و وسایل را تصحیح کردند. همچنین، پالا و ریدوان [8] به بررسی آسایش حرارتی داخل یک اتوبوس در یک شرایط آب و هوایی گرم با استفاده از مدل آسایش حرارتی گایج<sup>3</sup> و به کمک نرم‌افزار متلب پرداختند. آن‌ها در پایان یک مدل ریاضی عمومی بر پایه یک روش تجربی را برای استفاده مهندسان تهویه مطبوع خودرو و پژوهش‌گران مرتبط با زمینه آسایش حرارتی وسایل نقلیه توسعه دادند.

## 2- فضای نمونه

اتوبوس مورد استفاده در پژوهش حاضر، اتوبوس اسکانیا مدل 4212 مارال است که یکی از رایج‌ترین اتوبوس‌های مورد استفاده در ایران است و ابعاد طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب برابر 12، 2.45 و 1.95 متر می‌باشند. گنجایش این اتوبوس 44 نفر است که با احتساب راننده به 45 نفر می‌رسد، شمایک اتوبوس و نحوه چیدمان صندلی‌ها در شکل 2 نشان داده شده است. ورودی معمول سیستم تهویه این اتوبوس‌ها، نواری مستطیل شکل و به صورت دو ردیف در سقف جانمایی شده است. با این نوع جانمایی دریچه‌ها، امکان پخش آلودگی‌ها و کاهش کیفیت هوا وجود دارد. بر این اساس است که در این مقاله، از دریچه‌هایی با شکل و چیدمان دیگری استفاده شده است. برای بررسی جانمایی و شکل ورودی‌های سیستم تهویه بر میزان مصرف انرژی برای رسیدن به یک شرایط آسایش حرارتی مطلوب است، سه نوع ورودی مختلف در نظر گرفته شده است که در تمام حالات سطح مقطع دریچه‌های ورودی ثابت و برابر با 1.4 متر مربع در نظر گرفته شده است. نوع اول ورودی‌ها، 45 دریچه دایره‌ای شکل و به شعاع 0.1 متر هستند که دقیقاً زیر صندلی افراد و روی کف قرار دارند. نوع دوم، دریچه‌های نواری مستطیل شکل به طول 9 در دو طرف بدنه روی کف قرار دارند و نوع سوم مشابه دریچه‌های نوع دوم است که در ارتفاع 0.2 متر از کف و روی بدنه اتوبوس در نظر گرفته شده است. محل سه نوع ورودی‌های مختلف در شکل 3 نمایش داده شده است.

## 3- معادلات حاکم

معادلات حاکم شامل معادلات بقا (معادله بقای جرم، بقای اندازه حرکت و بقای انرژی) و معادلات مربوط به آسایش حرارتی افراد است که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد. برای یک جریان پایا و غیرقابل تراکم با فرض ثابت بودن

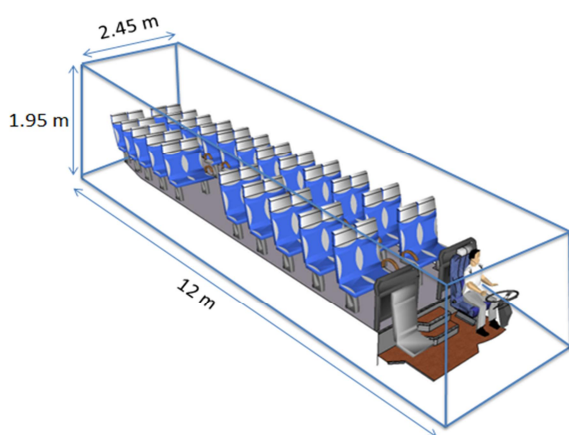


Fig. 2 Schematic of case study

شکل 2 شماتیک فضای نمونه

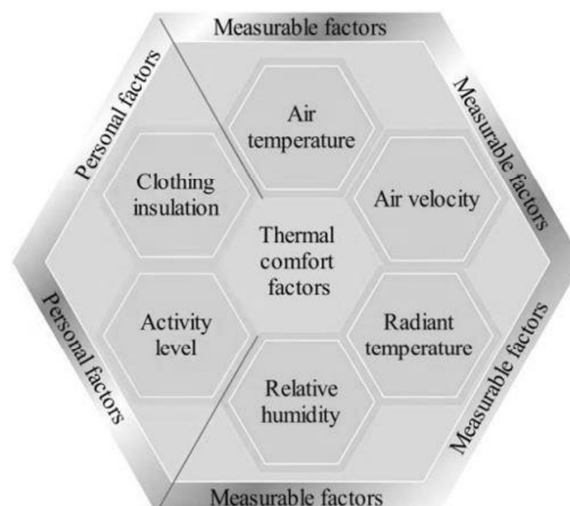


Fig. 1 Measurable and personal factor to determining the thermal comfort in vehicle [1]

شکل 1 عوامل محیطی و شخصی تعیین کننده آسایش حرارتی درون وسایل نقلیه [1]

تحقیقات فراوانی در زمینه آسایش حرارتی وسایل نقلیه انجام شده است که بیش‌تر آن‌ها مربوط به وسایل نقلیه شخصی است. در این‌جا به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود: وال‌گاما و همکاران [2] در سال 2006 به مرور کلی آسایش حرارتی افراد درون وسایل نقلیه پرداختند، آن‌ها با بیان این که آسایش حرارتی افراد درون وسایل نقلیه از عوامل مهم محدودکننده طراحی وسایل نقلیه محسوب می‌شود، برای نشان دادن اهمیت یافتن آسایش حرارتی در وسایل نقلیه، بیان نمودند که در طی 40 سال قبل 58 مقاله به بررسی این موضوع پرداخته است که تعداد مقالات در هر دهه به صورت پیوسته 1، 3، 21 و 33 بوده است.

چن و همکاران [4] نشان دادند که نرم‌افزار مهندسی آسایش حرارتی<sup>1</sup> که توسط دانشگاه برکلی توسعه یافته است، توانایی ارزیابی و پیش‌بینی آسایش حرارتی را برای سرنشینان خودرو در یک محیط نسبتاً گرم و همراه با تابش خورشیدی را دارد، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که داده‌های خروجی از نرم‌افزار در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی دقت قابل قبولی دارد. الاحمر و همکاران [5] تأثیر رطوبت نسبی هوای داخل همراه با دمای حباب خشک را بر آسایش حرارتی افراد، داخل یک خودرو مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها نشان دادند که میزان رطوبت نسبی داخل تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر شاخص آسایش حرارتی<sup>2</sup> در آغاز فرایند سرمایش ندارد.

تحقیقات انجام شده در زمینه آسایش حرارتی وسایل نقلیه عمومی نسبت به وسایل عمومی شخصی کم‌تر است، از آن جمله می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد. خمیس منصور و همکاران [6] جهت صرفه‌جویی انرژی و افزایش آسایش حرارتی مسافران یک اتوبوس، کنترل یک سیستم تهویه جدید از سقف را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها ضمن استفاده از مدل آسایش حرارتی فن‌گر، عملکرد سیستم جدید و سیستم متداول را مقایسه نمودند، نتایج ایشان نشان داد که سیستم جدید قادر است تا 20% هزینه‌های چرخه عمر را کاهش دهد. در سال 2015، دیتان‌کار و همکاران [7] روشی را برای پیش‌بینی آسایش حرارتی در داخل اتوبوس توسعه دادند و نشان دادند که روش ارائه شده در شرایط آب و هوایی گرم تطابق بیش‌تری با داده‌های تجربی دارد. آن‌ها به منظور بهبود آسایش حرارتی سرنشینان، مکان

<sup>1</sup> Virtual thermal comfort engineering (VTCE)

<sup>2</sup> Predicted Mean Vote (PMV)

<sup>3</sup> Gagge

مدل‌های تحلیلی آسایش حرارتی به حساب می‌آید و از آن در استانداردهای اشری 55 [11] و ایزو 7730 [12] به عنوان مدل استاندارد آسایش حرارتی یاد شده است.

مدل براساس موازنه انرژی و با در نظر گرفتن هفت عامل سراسری مؤثر بر شرایط حرارتی بدن استوار است. چهار عامل محیطی شامل دمای هوا  $T_a$ ، دمای متوسط تابشی  $T_{rd}$ ، رطوبت نسبی  $RH$  و سرعت جریان هوا  $V$  است و سه عامل فردی شامل میزان فعالیت افراد  $W$ ، نرخ متابولیک  $M$  و میزان پوشش می‌باشد، در نتیجه فنر احساس حرارتی افراد را در قالب شاخص آسایش حرارتی PMV برای افراد به صورت رابطه (7) بیان می‌کند.

$$\begin{aligned} PMV = & (0.028 + 0.303 \exp(-0.036M)) / [(M - W) \\ & - 0.00305(5733 - 6.99(M - W) - P_a) \\ & - 0.42((M - W) - 58.15) \\ & - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - P_a) \\ & - 0.0014M(34 - T_a) - f_{cl} h_c(T_{cl} - T_a) \\ & - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (T_{rd} + 273)^4)] \quad (7) \end{aligned}$$

که  $T_{cl}$  با استفاده از رابطه (8) به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} T_{cl} = & 35.7 - 0.0275(M - W) - f_{cl} I_{cl} h_c(T_{cl} - T_a) \\ & - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} I_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{rd} + 273)^4] \quad (8) \end{aligned}$$

شاخص آسایش حرارتی بیان‌گر احساس حرارتی افراد نسبت به محیط است. این شاخص طبق مقیاس استاندارد اشری [11] اعدادی در بازه -3 تا +3 را شامل می‌شود که هر عدد در این بازه بیان‌گر یک احساس حرارتی تعریف شده است. استاندارد ایزو 7730 [12]، محدوده +0.5 تا -0.5 را به عنوان محدوده قابل قبول برای آسایش حرارتی معرفی می‌کند.

هدف نهایی مدل‌های آسایش حرارتی، ارائه شاخصی جهت محاسبه درصد نارضایتی افراد نسبت به شرایط حرارتی محیط است که به عنوان معیاری برای طراحی توسط طراحان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص، درصد افرادی را که احساس آسایش حرارتی ندارند، محاسبه می‌کند. رابطه (9) برای محاسبه این شاخص به صورت تابعی از شاخص آسایش حرارتی داده شده است [12]. براساس پیشنهاد استاندارد ایزو 7730 [12] مقدار مناسب این شاخص، مقادیر کم‌تر یا مساوی 10% است.

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2) \quad (9)$$

#### 4- شرایط مرزی و روش حل

سرعت هوا در ورودی‌ها، ثابت و برابر 1 متر بر ثانیه و عمود بر سطح مقطع ورودی در نظر گرفته شده است. بدنه، سقف و کف اتوبوس، با توجه به جنس آن‌ها، به صورت شار ثابت مدل شده است. نرخ تعویض هوا 40 بار در ساعت فرض شده است.

جهت حل معادلات حاکم در فضای سه‌بعدی از نرم‌افزار ایرپک<sup>2</sup> نسخه 3.0.16 استفاده شده است. در این حلگر برای حل عددی از روش حجم محدود و تصحیح رابطه بین فشار و سرعت از الگوریتم سیمپل استفاده شده است. در هر یک از سه نوع ورودی‌ها، سطح مقطع‌ها ثابت بوده و سرعت هوای ورودی ثابت و برابر 1 متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

#### 5- نتایج و بحث

مقادیر دمای ورودی‌ها همراه با PMV در ارتفاع‌های 0.1، 0.6 و 1.1 در جدول 1 گزارش شده است. با توجه به PMV در ارتفاع‌های 0.1 و 1.1 مشاهده می‌شود که وقتی ورودی‌ها با سطح مقطع دایره‌ای روی کف قرار داده

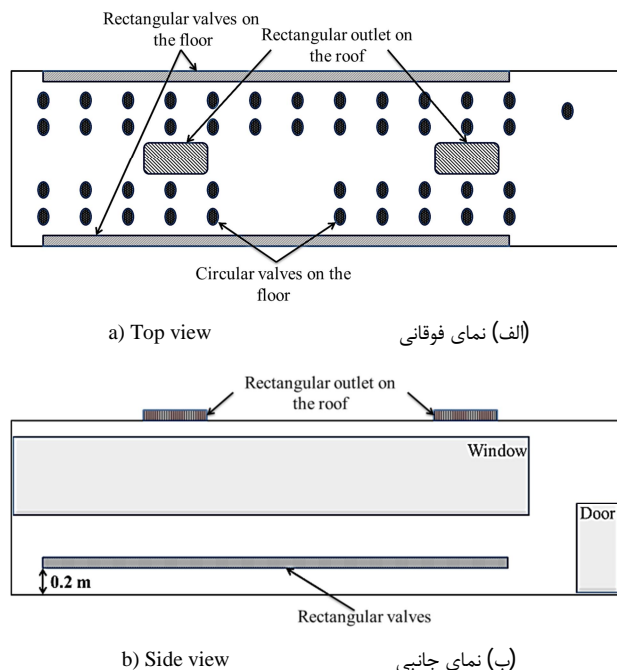


Fig. 3 Arrangement three cases inlet valve

شکل 3 جانمایی سه نوع دریچه ورودی

خواص سیال، معادلات بقا به صورت زیر هستند.

معادله بقای جرم:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (1)$$

معادلات بقای اندازه حرکت:

$$\rho(\vec{V} \cdot \nabla \vec{V}) = -\nabla P + \mu_{eff} \nabla^2 \vec{V} + \vec{s} \quad (2)$$

معادله بقای انرژی:

$$\vec{V} \cdot \nabla T = \alpha \nabla^2 T + s_T \quad (3)$$

در معادلات فوق،  $P$ ،  $T$  و  $\alpha$  به ترتیب بردار سرعت، فشار، درجه حرارت و ضریب نفوذ حرارتی است. هم‌چنین  $\vec{s}$  بیان‌گر نیروی شناوری وارده بر واحد حجم سیال است که به کمک تقریب بوزینسک به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\vec{s} = \rho \vec{g} [1 - \beta(T - T_0)] \quad (4)$$

در این رابطه  $\beta$  ضریب انبساط حجمی و  $\vec{g}$  بردار شتاب جاذبه زمین است.  $\mu_{eff}$  ضریب لزجت موثر سیال است که برای جریان آشفته به صورت حاصل جمع لزجت سیال و لزجت توربولانسی سیال بیان می‌شود.

$$\mu_{eff} = \mu_t + \mu \quad (5)$$

روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی  $\mu_t$  در جریان آشفته وجود دارد. از پرکاربردترین مدل‌های آشفته برای محیط‌های داخلی می‌توان به مدل صفرمعادله‌ای داخلی<sup>1</sup> اشاره کرد که توسط چن و زو [9] برای شبیه‌سازی جریان هوا در محیط‌های داخلی توسعه یافته است. بر این اساس لزجت توربولانسی،  $\mu_t$  در مدل صفر معادله‌ای برای محیط‌های داخلی به صورت رابطه (6) بیان می‌شود [9]:

$$\mu_t = 0.03874 \rho \nu \quad (6)$$

بخش دیگر معادلات حاکم، شامل معادلات مربوط به آسایش حرارتی است. در این پژوهش، جهت ارزیابی احساس حرارتی افراد از مدل آسایش حرارتی فنر [10] استفاده می‌شود. این مدل، یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین

<sup>2</sup> Airpak®

<sup>1</sup> Indoor zero equation

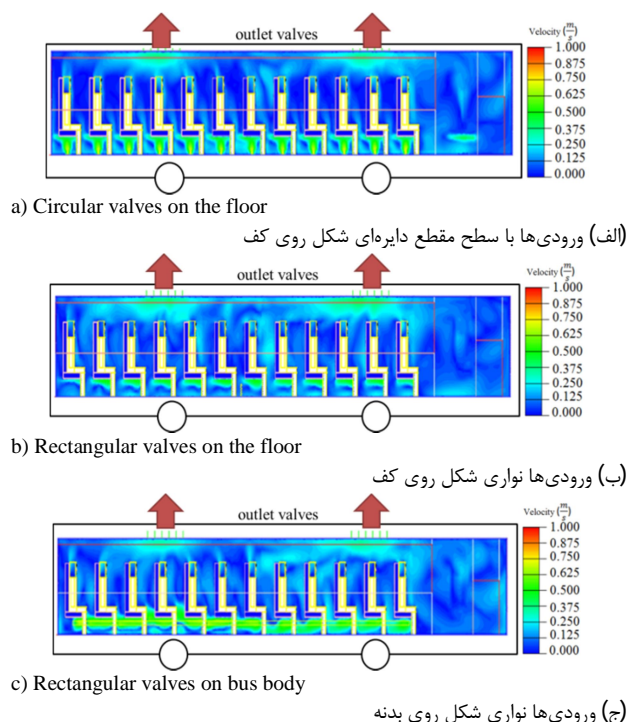


Fig. 5 Speed contours for three cases inlet

شکل 5 کانتورهای سرعت برای سه دسته ورودی

دو حالت دیگر است ولی در محدوده از زانو به پایین افراد، زمانی که از دریچه‌های نواری روی کف استفاده می‌شود، سرعت کم‌ترین مقدار را دارد که با توجه به محدوده سرعت‌ها، باعث احساس حرارتی مطلوب‌تری می‌شود.

#### 6- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی تأثیر جانمایی و شکل دریچه‌های ورودی هوا بر میزان مصرف انرژی با رعایت شرایط آسایش حرارتی مطلوب پرداخته شده است که برای این منظور سه نوع دریچه ورودی متفاوت دایره‌ای شکل روی کف، نواری روی کف و نواری روی بدنه در نظر گرفته شده است.

نتایج نشان داد که برای رسیدن به شرایط آسایش حرارتی مطلوب در ارتفاع 0.6 متری همراه با صرف کم‌ترین میزان مصرف انرژی، دریچه‌های با سطح مقطع دایره‌ای شکل که روی کف قرار دارند، مقرون به صرفه‌تر است. ولی با در نظر گرفتن تأثیر ارتفاع بر شاخص آسایش حرارتی، دریچه‌های نواری شکل روی بدنه، شرایط یکنواخت‌تری ایجاد می‌کند.

#### 7- مراجع

- [1] M. Simion, L. Socaciu, P. Unguresan, Factors which influence the thermal comfort inside of vehicles, *Energy Procedia*, Vol. 85, pp. 472-480, 2016.
- [2] C. Walgama, S. Fackrell, M. Karimi, A. Fartaj, G. W. Rankin, Passenger thermal comfort in vehicles – a review, *Proc. IMechE Part D: J. Automobile Engineering*, Vol. 220, No. 5, pp. 543-562, 2006.
- [3] C. Croitoru, I. Nastase, F. Bode, A. Meslem, A. Dogeanu, Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles-Current capabilities and future perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 44, pp. 304-318, 2015.
- [4] K. Chen, S. Kaushik, T. Han, D. Ghosh, M. Wang, Thermal Comfort Prediction and Validation in a Realistic Vehicle Thermal Environment, *SAE International*, 2012.
- [5] A. Alahmer, M. Omar, A.R. Mayyas, A. Qattawi, Analysis of vehicular cabins' thermal sensation and comfort state, under relative humidity and temperature control, using Berkeley and

می‌شود، افراد در ناحیه سر احساس حرارتی مطلوب‌تری دارند و زمانی که ورودی‌ها را روی بدنه اتوبوس قرار داده، افراد در ناحیه پا احساس حرارتی مطلوب‌تری دارند، ضمن این که در این حالت اختلاف بین PMV سر و پای افراد در مقایسه با سایر حالت‌ها کم‌تر است.

با مقایسه دمای هوای ورودی‌ها با یکدیگر و ضمن این که محاسبات برای شرایط تابستانه با دمای هوای بیرون 35 °C انجام شده است، زمانی که دریچه‌ها دایره‌ای شکل هستند، با توجه به اختلاف کم‌تر دمای هوای ورودی با دمای هوای بیرون، این نوع از دریچه‌ها به لحاظ مصرف انرژی کم‌تر و دستیابی به شرایط مطلوب آسایش حرارتی در ارتفاع 0.6 متری، برای طراحی بهتر است.

خطوط هم‌دما و هم‌سرعت برای سه نوع ورودی‌های متفاوت، در یک سطح مقطع طولی و به فاصله 0.68 متری از عرض، در "شکل‌های 4 و 5" به ترتیب نمایش داده شده است. در "شکل 4" مشاهده می‌شود که وقتی از دریچه‌های نواری روی کف استفاده می‌شود، دما در محدوده حضور افراد، نسبت به دو حالت دیگر کم‌تر است که با توجه به شرایط تابستانه باعث احساس حرارتی مطلوب‌تری برای افراد می‌شود. با استفاده از "شکل 5" مشاهده می‌شود که سرعت جریان هوا داخل اتوبوس زمانی که از دریچه‌های دایره‌ای شکل استفاده می‌شود، در محدوده از زانو به بالا افراد، کم‌تر نسبت به

جدول 1 مقادیر شاخص احساس حرارتی افراد

Table 1 Values of thermal comfort

نوع ورودی هوا	ارتفاع (m)	اختلاف بین PMV در دمای ورودی		نوع ورودی هوا
		0.1 و 1.1 از کف	0.6 و 1.1 از کف	
ورودی دایره‌ای شکل	0.1	-0.65	0.51	0.22
ورودی نواری کف	0.1	-0.76	0.50	-0.24
ورودی نواری بدنه	0.1	-0.56	0.51	-0.05

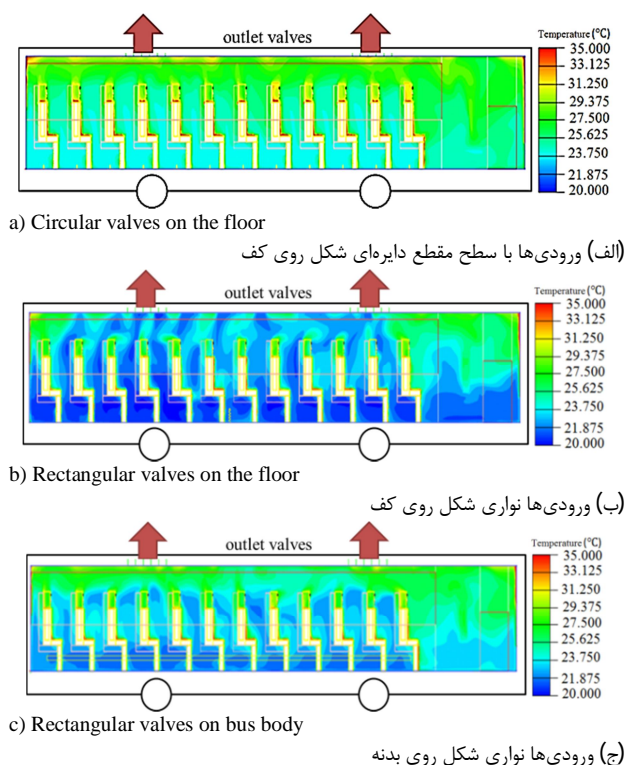


Fig. 4 Temperature contours for three cases inlet

شکل 4 کانتورهای دما برای سه دسته ورودی

- [9] Q. Chen, W. Xu, A zero-equation turbulence model for indoor airflow simulation, *Energy and Buildings*, Vol. 28, pp. 137-144, 1998.
- [10] P. O. Fanger, *Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering*, New York: McGraw-Hill, 1970.
- [11] ANSI/ASHRAE, Standard 55-2010. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010.
- [12] ISO7730, *Moderate thermal environments—Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, International Standards Organization, 1994.
- Fanger models, *Building and Environment*, Vol. 48, pp. 146-163, 2012.
- [6] M. Khamis Mansour, M. Musa, M. Hassan, Kh. Saqr, Development of novel control strategy for multiple circuit, roof top bus air conditioning system in hot humid countries, *Energy Conversion and Management*, Vol. 49, pp. 1455-1468, 2008.
- [7] N. Daithankar, K. Udawant, N. Karanth, Prediction of Thermal Comfort Inside a Midibus Passenger Cabin Using CFD and Its Experimental Validation, *SAE International*, 2015.
- [8] U. Pala, H. Ridvan Oz, An investigation of thermal comfort inside a bus during heating period within a climatic chamber, *Applied Ergonomics*, Vol. 48, pp. 164-176, 2015.