



## ارزیابی تأثیر مشخصه‌های فردی بر احساس حرارتی در یک استخر سرپوشیده با تغییر در جانمایی دریاچه‌های ورودی هوا

سیدمحمد هوشمند، فرزین داودی، علی فوادالدینی، سیدعلیرضا ذوالفقاری\*، حسن حسن زاده

دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۶ خرداد ۱۳۹۶  
بازنگری: ۷ تیر ۱۳۹۶  
پذیرش: ۱۵ شهریور ۱۳۹۶  
ارائه آنلاین: ۲۰ شهریور ۱۳۹۶

### کلمات کلیدی:

تهویه مطبوع  
استخر شنای سرپوشیده  
آسایش حرارتی  
مدل سه نقطه‌ای انفرادی

**چکیده:** در استخرهای سرپوشیده به علت حضور گسترده افراد با شرایط متفاوت، طراحی سیستم تهویه مطبوع که توانایی ایجاد شرایط آسایش حرارتی برای اکثریت افراد حاضر را داشته باشد اهمیت پیدا می‌کند. افراد حاضر در استخر از نظر شرایط بدنی و جنسیت با یکدیگر تفاوت داشته و نیاز است تا تأثیر این عوامل بر آسایش حرارتی افراد بررسی شود. بر این اساس، در این تحقیق با استفاده از مدل آسایش حرارتی انفرادی سه نقطه‌ای به ارزیابی تأثیر عوامل فردی بر احساس حرارتی افراد حاضر در یک استخر شنای سرپوشیده پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که زنان در مقایسه با مردان نسبت به شرایط سرما حساس‌ترند. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که شاخص توده بدنی نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر احساس حرارتی افراد دارد. به طوری که افراد لاغر در مقایسه با افراد دارای سلامت وزنی احساس حرارتی سردتر و افراد دارای اضافه وزن دارای احساس گرم‌تر هستند. بر اساس نتایج به دست آمده، با تغییر شاخص توده بدنی افراد، شاخص احساس حرارتی افراد می‌تواند تا نزدیک به ۰/۴ واحد تغییر کند که این امر در ارزیابی آسایش حرارتی بسیار قابل توجه است.

### ۱- مقدمه

اماکن ورزشی و به ویژه استخرهای سرپوشیده، یکی از ساختمان‌های دارای کاربری خاص می‌باشند که به علت داشتن رطوبت بالا، آلودگی ناشی از کلر و همچنین تغییرات دمایی هوا، نیاز به سیستم تهویه مطبوع با طراحی ویژه‌ای دارند که ضمن دفع آلاینده خطرناک کلر از محدوده استنشاقی افراد و دفع رطوبت برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها، آسایش حرارتی را نیز تامین نماید.

در زمینه سیستم‌های تهویه مطبوع استخر و اماکن ورزشی تاکنون تحقیقات متعددی صورت گرفته است. در سال ۱۹۹۷ تریانتی و همکاران [۱] تأثیر عایق کردن دیواره‌ها، نصب سایه‌بان بر روی پنجره‌ها و افزودن پنجره با اندازه متفاوت را در تعدادی فضای ورزشی در یونان بررسی کردند. در سال ۲۰۰۵ لی و هیزلبرگ [۲] بر اساس رابطه تبخیر ارائه شده توسط شاه [۳] و دست‌نامه<sup>۱</sup> کاربردهای تأسیساتی اشری [۴] به شبیه سازی تبخیر در استخری دانشگاهی در کشور دانمارک پرداختند. راندال و سوچو [۵] در سال ۲۰۱۳ تأثیر کیفیت هوا بر سیستم تنفسی ورزشکاران را بررسی کردند و نشان دادند که کیفیت پایین هوا می‌تواند موجب بروز مشکلات تنفسی برای ورزشکاران شود. در بررسی‌های صورت گرفته در مورد آسایش حرارتی، رول و آرنسانو [۶] در سال ۲۰۱۴ با استفاده از نتایج اندازه‌گیری شده در دو فضای

ورزشی بدون تهویه مطبوع شامل استخر و باشگاه بدن‌سازی، مدل آسایش حرارتی خود بر اساس شاخص احساس حرارتی به دست آمده از استاندارد ایزو ۷۷۲۶ [۷] و ترکیب چند روش را اعتبار سنجی کردند. پس از آن با مدل‌سازی سیستم گرمایش آب و هوای استخر، به بررسی مصرف انرژی در استخری که در طول سال شرایط آسایش حرارتی برقرار است پرداختند. در سال ۱۳۹۵ ذوالفقاری و همکاران [۸] به بررسی اثرات متقابل تبخیر، احساس حرارتی و غلظت آلاینده در یک استخر شنای سرپوشیده با استفاده از مدل دو نقطه‌ای گایج [۹] پرداختند. آن‌ها با در نظر گرفتن شرایطی مطابق با دست‌نامه مبانی اشری [۱۰] معادلات جریان و انرژی را در استخری سرپوشیده مدل‌سازی کرده و توازن بین تبخیر از سطح استخر، کیفیت هوا به علت وجود کلر و آسایش حرارتی برقرار کردند.

از سوی دیگر، یکی از موضوعات مهم در تحلیل عملکرد سیستم‌های تهویه مطبوع، نحوه مدل‌سازی شرایط آسایش حرارتی به کمک یک مدل مناسب با شرایط کاربری ساختمان و ساکنان آن می‌باشد. در میان مدل‌های آسایش حرارتی، مدل‌های فنگر [۱۱] و گایج [۹] از جمله معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل‌ها در زمینه بررسی تحلیلی آسایش حرارتی محسوب می‌شوند. این در حالی است که یکی از مفروضات ساده کننده در مدل‌هایی نظیر مدل فنگر [۱۱] و گایج دو نقطه‌ای [۹]، توزیع یکنواخت لباس روی سطح بدن می‌باشد. به‌طوریکه در این مدل‌ها، تفاوتی میان احساس حرارتی قسمت‌های برهنه و پوشیده بدن وجود ندارد و تنها یک شاخص آسایش

1 Handbook

نویسنده عهده‌دار مکاتبات: zolfaghari@birjand.ac.ir

پوشیده بدن و با توجه به عوامل فردی شخص از جمله تناسب بدنی و جنسیت در شرایط حرارتی شبیه‌سازی شده فضای استخر، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

## ۲- فضای نمونه

مطابق شکل ۱ فضای نمونه سالنی با طول، عرض و ارتفاع ۶۰، ۳۵ و ۳۵ متر است. استخر موجود در این سالن از نوع استخرهای قهرمانی استاندارد بوده و دارای طول و عرض ۵۰ و ۲۵ متر می‌باشد. دریچه‌های ورودی هوا به صورت نواری است که دارای ابعاد  $0.1 \times 60$  متر می‌باشد. ۴ حالت برای دریچه ورودی هوا به صورت دریچه در کف، سقف، بالا و پایین دیوار جانبی در نظر گرفته شده است. دریچه‌های خروجی دارای ابعاد  $1 \times 3$  متر بوده و در دیوارهای عرضی قرار گرفته‌اند.

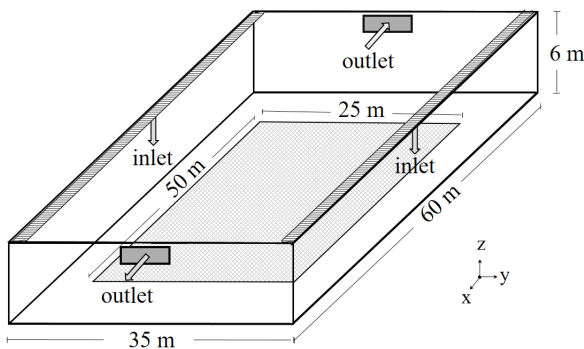
## ۳- معادلات حاکم

### ۳-۱- معادلات حاکم بر جریان و انرژی

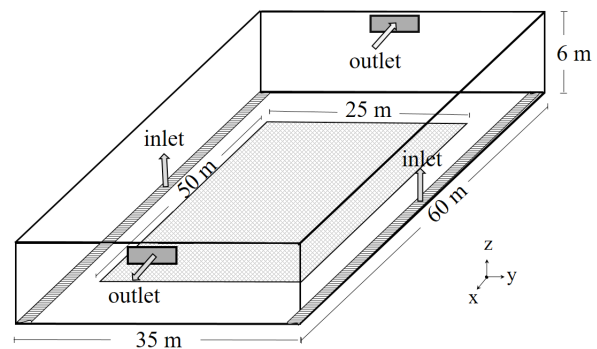
در تحقیق حاضر برای تحلیل جریان و انرژی از معادلات پیوستگی، بقای تکانه خطی و بقای انرژی با شرایط پایا و غیرقابل تراکم و استفاده از فرض شناوری حرارتی به کمک تقریب بوزینسک استفاده شده است [۸].

برای تمام بدن استخراج می‌شود. اما در محیط استخر به دلیل اینکه قسمت اعظم پوست شناگر برهنه است، تحلیل وضعیت آسایش این بخش از پوست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از سوی دیگر، یکی دیگر از مسائلی که باید در تحلیل شرایط آسایش حرارتی در استخرها به آن توجه کرد، تمایز میان احساس حرارتی افراد با خصوصیات فردی (از قبیل وزن، قد و جنسیت) متفاوت است موضوعی که در تحقیقات پیشین مورد بررسی قرار نگرفته است. در مدل‌های آسایش حرارتی رایج مانند فنکر [۱۱] و گایج [۹] از تأثیر عوامل فردی چشم پوشی شده است. در حالی که تحقیقات نشان می‌دهد که عوامل فردی می‌توانند نقش قابل ملاحظه‌ای در تنظیم حرارتی بدن ایفا نمایند [۱۲]. در سال ۲۰۱۰، ذوالفقاری و معرفت [۱۳] با اصلاح مدل دو نقطه‌ای گایج [۹]، مدلی سه نقطه‌ای بر مبنای هسته مرکزی بدن، قسمت پوشیده پوست و قسمت برهنه آن ارائه کردند. همچنین، داودی و همکاران [۱۴] در سال ۱۳۹۵ مدل گایج سه نقطه‌ای را توسعه داده و با استفاده از عواملی مانند جنسیت، سن، متابولیک پایه و شاخص توده بدنی یک مدل فردی ارائه نمودند. این مدل می‌تواند به عنوان مبنایی ساده و البته قابل اتکا برای بررسی شرایط آسایش حرارتی فردی افراد در محیط‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

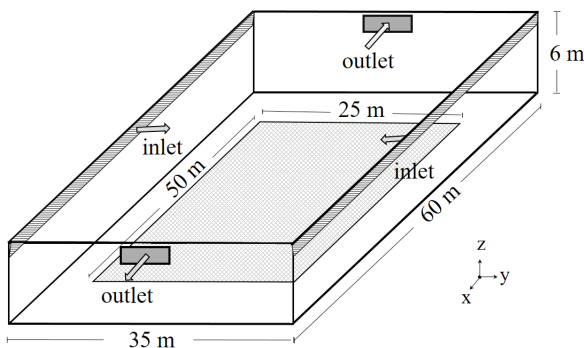
بر اساس آنچه که گفته شد، در تحقیق حاضر با استفاده از مدل سه نقطه‌ای فردی، احساس حرارتی شناگر به تفکیک قسمت‌های برهنه و



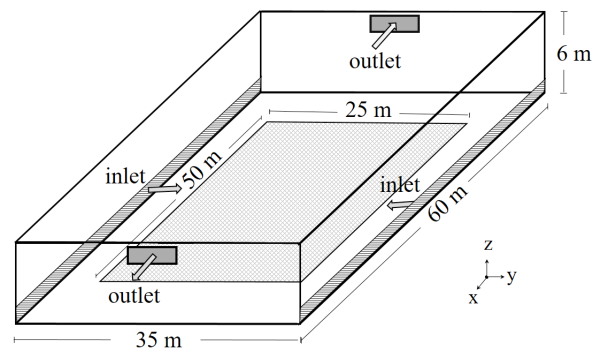
ب) دریچه‌های ورودی در سقف استخر



الف) دریچه‌های ورودی در کف استخر



ت) دریچه‌های ورودی در بالای دیواره جانبی استخر



پ) دریچه‌های ورودی در پایین دیواره جانبی استخر

Fig. 1. Present study geometry: a) air inlet at hall floor, b) air inlet at hall ceiling, c) air inlet at the bottom of the side walls, d) air inlet at the top of the side walls

شکل ۱: فضای نمونه مورد بررسی

معادله پیوستگی:

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

معادله بقای تکانه خطی:

$$(\vec{V} \cdot \nabla \vec{V}) = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu_{\text{eff}} \nabla^2 \vec{V} + \vec{S} \quad (2)$$

معادله انرژی:

$$\rho c_p u \cdot \nabla T = k_{\text{eff}} \nabla^2 T + Q_t \quad (3)$$

معادله بقای گونه برای بخار آب:

$$\vec{V} \cdot \nabla \omega_w = D_{\text{eff}(w/a)} \nabla^2 \omega_w + Q_w \quad (4)$$

معادله بقای گونه برای کلر:

$$\vec{V} \cdot \nabla \omega_c = D_{\text{eff}(c/a)} \nabla^2 \omega_c + Q_c \quad (5)$$

در روابط بالا  $Q_c$  و  $Q_w$ ،  $Q_t$  به ترتیب مقادیر جمله چشمه برای معادله انرژی، بقای گونه بخار آب و بقای گونه کلر هستند [۸]. پراپرتی توربولانسی ۰/۸۵ در نظر گرفته شده و عبارتهای  $\omega_w$  و  $\omega_c$  غلظت گونه‌ها می‌باشند. همچنین، جمله  $\vec{S}$  در رابطه (۲) بیان کننده نیروهای حجمی (شناوری) وارد بر سیال بوده و با تقریب بوزینسک<sup>۱</sup> محاسبه می‌شود.

$$\vec{S} = g(1 - \beta(T - T_{\text{ref}})) \quad (6)$$

که  $\beta$  ضریب انبساط حجمی ( $K^{-1}$ ) و  $\vec{g}$  بردار شتاب گرانش زمین ( $ms^{-2}$ ) است. ضریب لزجت مؤثر سیال که شامل لزجت سیال و لزجت اغتشاشی<sup>۲</sup> می‌باشد نیز با  $\nu_{\text{eff}}$  نشان داده شده است. لزجت اغتشاشی سیال با مدل دو معادله‌ای  $k-\epsilon$  استاندارد محاسبه می‌شود.

$$\nu_{\text{eff}} = \nu + \nu_t \quad (7)$$

با توجه به مقارن بودن هندسه در راستای طولی و عرضی و برای صرفه جویی در زمان محاسبات تنها یک چهارم هندسه مدل سازی شده است. با توجه به اینکه بخشی از نتایج مربوط به مدل سازی استخر سرپوشیده، در یک مقاله دیگر توسط نویسندگان ارائه شده است، لذا در مقاله حاضر به جهت رعایت اختصار، از بیان جزئیات بیشتر در زمینه مدل سازی و نحوه حل معادلات و صحت سنجی صرف نظر گردیده است. علاقمندان برای دسترسی به جزئیات بیشتر می‌توانند به تحقیق ذوالفقاری و همکاران [۸] مراجعه نمایند.

۳-۲- معادلات مربوط به تنظیم حرارتی بدن و آسایش حرارتی فردی  
در مدل فردی سه نقطه‌ای، بدن به سه قسمت مرکز، پوست پوشیده و

پوست بدون پوشش تقسیم می‌شود. معادلات موازنه انرژی و سازکارهای فیزیولوژیکی تنظیم حرارت برای هر کدام از این قسمت‌ها به صورت مجزا در نظر گرفته شده است. روابط (۸) تا (۱۰)، معادلات موازنه انرژی برای بخشهای مرکز، پوست برهنه و پوست پوشیده را نشان می‌دهند. با استفاده از این روابط دمای مرکز بدن، دمای پوست برهنه و پوست پوشیده محاسبه می‌شود [۱۳].

$$\frac{(1-\alpha)mc_{p,b}}{A_D} \frac{dT_{cr}}{dt} = M - W - Q_{res} - \lambda Q_{cr-sk,br} - (1-\lambda)Q_{cr-sk,cl} \quad (8)$$

$$\frac{\mu\alpha mc_{p,b}}{\lambda A_D} \frac{dT_{sk,br}}{dt} = Q_{cr-sk,br} - (Q_{conv,br} + Q_{rad,br} + Q_{ev,br}) \quad (9)$$

$$\frac{(1-\mu)\alpha mc_{p,b}}{(1-\lambda)A_D} \frac{dT_{sk,cl}}{dt} = Q_{cr-sk,cl} - (Q_{conv,cl} + Q_{rad,cl} + Q_{ev,cl}) \quad (10)$$

که در این روابط فوق،  $\lambda$  نسبت سطح قسمت‌های بدون پوشش به سطح کل بدن و  $\mu$  نسبت جرم قسمت‌های بدون پوشش به جرم کل بدن است. همچنین زیرنویس‌های br و cl به ترتیب نشان دهنده قسمت‌های بدون پوشش و دارای پوشش و زیرنویس‌های b، h، c به ترتیب بیانگر بدن، گرما و سرما می‌باشد. سایر جزئیات مربوط به مدل آسایش حرارتی سه نقطه‌ای در مرجع [۱۴] ارائه شده است.

شاخص احساس حرارتی افراد برای این مدل به صورت معادلات زیر بیان می‌شود [۱۴]:

$$TSENS_{ov} = \begin{cases} 0.4685(T_b - T_{b,c}) & T_b < T_{b,c} \\ 0.47\eta_e \frac{(T_b - T_{b,c})}{(T_{b,h} - T_{b,c})} & T_{b,c} < T_b < T_{b,h} \\ 0.47\eta_e + 0.685(T_b - T_{b,h}) & T_{b,h} < T_b \end{cases} \quad (11)$$

$$TSENS_{br} = \begin{cases} 0.4685(T_{b,br} - T_{b,c}) & T_{b,br} < T_{b,c} \\ 0.47\eta_{e,br} \frac{(T_{b,br} - T_{b,c})}{(T_{b,h} - T_{b,c})} & T_{b,c} < T_{b,br} < T_{b,h} \\ 0.47\eta_{e,br} + 0.685(T_{b,br} - T_{b,h}) & T_{b,h} < T_{b,br} \end{cases} \quad (12)$$

$$TSENS_{cl} = \begin{cases} 0.4685(T_{b,cl} - T_{b,c}) & T_{b,cl} < T_{b,c} \\ 0.47\eta_{e,cl} \frac{(T_{b,cl} - T_{b,c})}{(T_{b,h} - T_{b,c})} & T_{b,c} < T_{b,cl} < T_{b,h} \\ 0.47\eta_{e,cl} + 0.685(T_{b,cl} - T_{b,h}) & T_{b,h} < T_{b,cl} \end{cases} \quad (13)$$

1 Boussinesq approximation

2 Turbulence viscosity

برای سنجش تناسب اندام برای یک فرد می‌باشد [۱۵] و معیاری معتبر برای تفکیک افراد از نقطه نظر فیزیکی بدنی است. از رابطه (۱۴) می‌توان شاخص توده بدنی را محاسبه نمود که در این رابطه جرم فرد بر حسب کیلوگرم و قد وی بر حسب متر است.

$$BMI = \frac{m}{l^2} \quad (14)$$

### ۵- بحث و بررسی نتایج

همان گونه که پیش از این اشاره شد هدف این پژوهش بررسی تأثیر عوامل انفرادی شامل جنسیت و میزان تناسب بدنی بر شرایط آسایش حرارتی افراد حاضر در یک استخر سرپوشیده است. برای این منظور، شرایط حرارتی افراد در چهار محل استقرار مختلف مطابق شکل ۲ مورد بررسی قرار گرفته

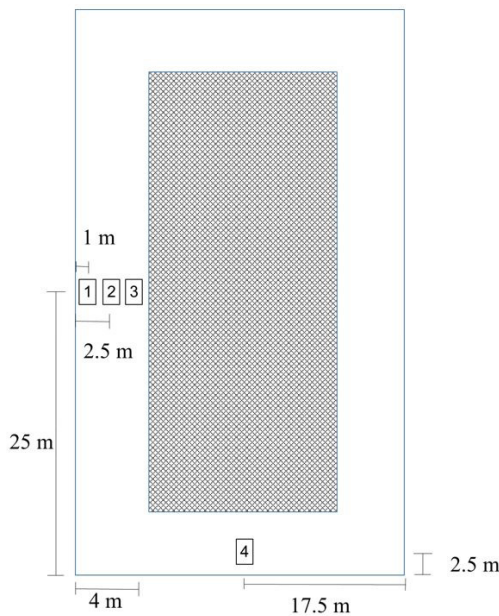


Fig. 2. The locations for reporting the thermal comfort conditions

شکل ۲: جایگاه‌های گزارش شرایط آسایش حرارتی افراد

در روابط بالا پارامتر  $\eta$  بازده تبخیری نامیده می‌شود و مقدار آن برابر با ۰/۸۵ در نظر گرفته می‌شود. تمامی پارامترها و نحوه محاسبه آن‌ها در مراجع [۱۳] و [۱۴] ارائه شده است.

خصوصیات فردی مانند سن، وزن، قد و جنسیت که مستقل هستند در مدل توسعه داده و فردی شده به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. عوامل تأثیرگذار وابسته مانند درصد چربی بدن، ظرفیت گرمایی ویژه بدن، مقاومت حرارتی بافت‌های بدن از طریق خصوصیات مستقل محاسبه [۱۴] و در معادلات مربوط به موازنه انرژی قرار داده می‌شود.

### ۴- شرایط مرزی

در فضای نمونه مورد بررسی دمای هوای ورودی به استخر ۳۵ درجه سلسیوس فرض شده است که به علت عایق بودن دیوارها در استخرهای قهرمانی، شرط مرزی دمایی روی دیواره گرادیان صفر در نظر گرفته شده است. مقدار دمای آب استخر ۲۴ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است که در محدوده پیشنهادی دست‌نامه میانی اشرفی [۱۰] برای استخرهای قهرمانی قرار دارد. نرخ تعویض هوا ۴ بار در ساعت و طبق مقدار استاندارد [۱۰] انتخاب شده است که با توجه به حجم استخر سرعت هوای ورودی به فضای نمونه برابر ۱/۱۲ متر بر ثانیه می‌باشد. در خروجی نیز شرایط گرادیان صفر و بر روی دیواره‌ها شرط عدم لغزش حاکم است. همچنین، رطوبت هوای ورودی به استخر ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است. سایر جزئیات مربوط به نحوه مدل‌سازی در مرجع [۸] ارائه شده است.

با استفاده از نتایج شبیه‌سازی استخر برای جنسیت مردان و زنان، تأثیر شاخص توده بدنی یا همان تناسب اندام بر احساس حرارتی به نحوی انتخاب شده که در سه گروه متفاوت شاخص توده بدنی از لحاظ ترکیب فیزیکی متفاوت (بسیار لاغر، تناسب وزنی، بسیار چاق) قرار گرفته‌اند. در جدول ۱ خصوصیات افراد مورد بررسی و کمیت‌های میزان چربی، ظرفیت گرمایی بافت و ضخامت لایه چربی زیر پوستی فرد که با استفاده از عوامل فردی مستقل محاسبه می‌شود، آورده شده است. شاخص توده بدنی سنجشی آماری

جدول ۱: مشخصه‌های انفرادی افراد بررسی شده

Table 1. Individual characteristics of the subjects

مشخصه	مرد لاغر	زن لاغر	مرد متناسب	زن متناسب	مرد چاق	زن چاق
توده بدنی ( $\text{kg/m}^2$ )	۱۸	۱۸	۲۲/۵	۲۲/۵	۳۳	۳۳
سن (years)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
وزن (kg)	۴۵	۴۵	۶۵	۶۵	۱۱۰	۱۱۰
قد (m)	۱/۵۸	۱/۵۸	۱/۷	۱/۷	۱/۸	۱/۸
مساحت بدن ( $\text{m}^2$ )	۱/۴	۱/۴	۱/۷۴	۱/۷۴	۲/۲	۲/۲
گرمای ویژه ( $\text{J/kgK}$ )	۳۵۲۶	۳۳۸۸	۳۴۵۸	۳۳۲۶	۳۲۸۴	۳۱۶۸
ضخامت چربی (mm)	۷/۰	۸/۲	۱۰/۲	۱۰/۸	۱۵/۸	۱۸/۵
درصد چربی بدن (%)	۱۰/۸	۲۲/۱	۱۶/۸	۲۸/۳	۳۲/۰۳	۳۹/۲

پوشش در نظر گرفته شده برای افراد  $0.8 \text{ clo}$  است. با توجه به اثر گذاری دریچه ورودی هوا بر مقادیر میانگین در جایگاه‌های ۱ تا ۳ در شکل‌های ۳ کانتورهای دما برای صفحه گذرنده از این جایگاه‌ها نشان داده شده است.

است. در هر کدام از جایگاه‌های نشان داده شده در شکل ۲، برای محاسبه احساس حرارتی در محدوده اطراف فرد میانگین دما، سرعت و رطوبت نسبی محاسبه شده است (جدول ۲). با توجه به نوع فعالیت افراد در اطراف استخر و نوع پوشش مورد کاربرد در استخر نرخ متابولیک  $115 \text{ Wm}^{-2}$  و همچنین

جدول ۲: میانگین دما و سرعت هوا در جایگاه‌های ۱ تا ۴ برای هر دریچه

Table 2. Mean temperature and air velocity at four sites for each air inlet location

جایگاه ۴	جایگاه ۳	جایگاه ۲	جایگاه ۱	پارامتر میانگین گیری شده	دریچه ورودی هوا
۳۰/۸۴	۳۰/۴۶	۳۰/۷	۳۳/۲۹	دما (°C)	دریچه ورودی از کف
۰/۰۰۸	۰/۰۵۷	۰/۰۵۸	۰/۷۵	سرعت (m/s)	
۴۴/۴۳	۴۵/۸۱	۴۴/۶۲	۳۵/۵۸	رطوبت نسبی (%)	
۲۹/۸۴	۲۹/۲۷	۲۹/۴۱	۲۹/۳۸	دما (°C)	دریچه ورودی از سقف
۰/۰۲۳	۰/۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	سرعت (m/s)	
۴۷/۶۶	۵۰/۸۰	۵۰/۸۴	۵۱/۳۹	رطوبت نسبی (%)	
۳۱/۸۱	۳۳/۴	۳۲/۹۸	۳۲/۸۱	دما (°C)	دریچه ورودی از پایین دیوار جانبی
۰/۰۵۱	۰/۰۳۷	۰/۱۲	۰/۰۹۷	سرعت (m/s)	
۴۰/۸۵	۳۰/۹۶	۳۱/۲۱	۳۱/۴۰	رطوبت نسبی (%)	
۳۰/۴۸	۳۰/۲	۳۰/۳۳	۳۰/۳۳	دما (°C)	دریچه ورودی از بالای دیوار جانبی
۰/۰۲۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	سرعت (m/s)	
۴۷/۷۸	۴۹/۹۴	۴۹/۸۸	۵۰/۰۹	رطوبت نسبی (%)	

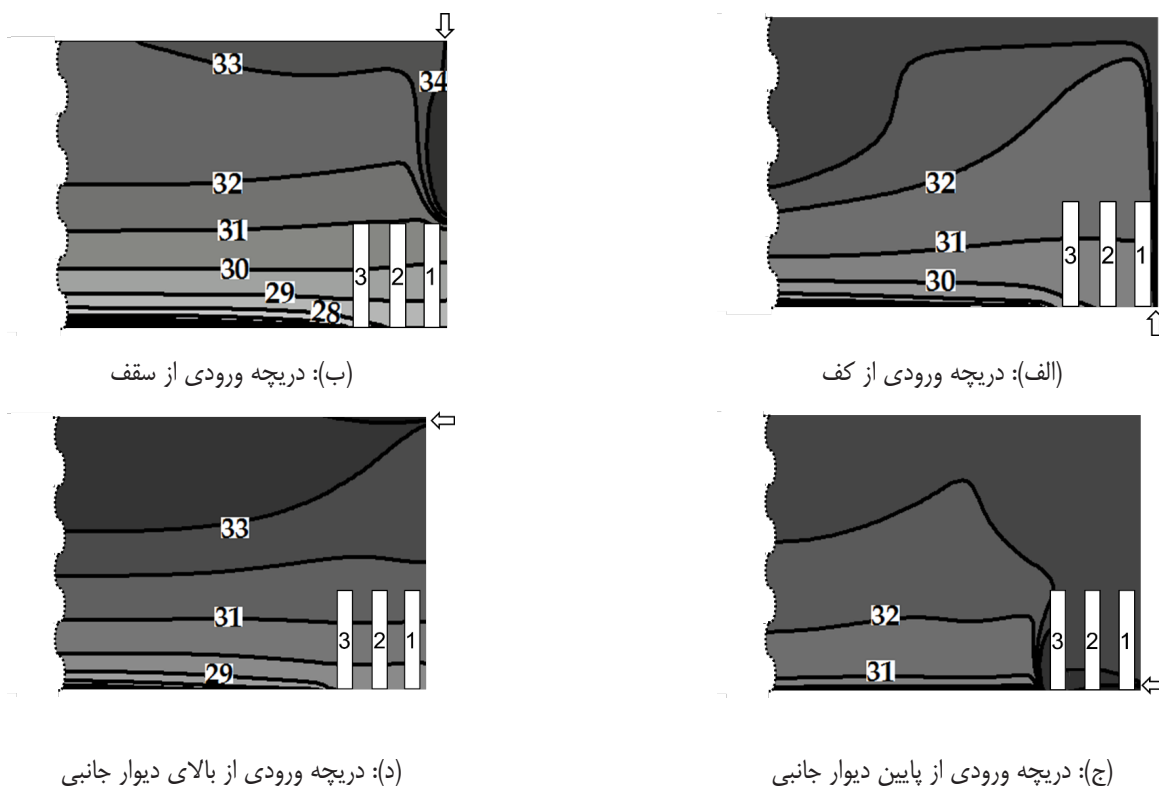


Fig. 3. Temperature contours at three sites for each air inlet location: a) air inlet at hall floor, b) air inlet at hall ceiling, c) air inlet at the bottom of the side walls, d) air inlet at the top of the side walls

شکل ۳: کانتور دما برای دریچه ورودی هوا در جایگاه‌های ۱ تا ۳ برای حالت‌های مورد بررسی

۳- نشان داده شده نیز هوای گرم را در محیط بالای سالن استخر پخش کرده و در ناحیه حضور افراد توزیع دما یکنواخت است.

بطور کلی با توجه به نزدیک بودن جایگاه ۱ به محل دریچه ورودی از کف، این جایگاه تحت تأثیر مستقیم دریچه ورودی بوده و بیشتر از دریچه ورودی در پایین دیوار جانبی تأثیر پذیرفته است. دریچه‌های ورودی از سقف و بالای دیوار جانبی نیز به علت فاصله داشتن با ناحیه حضور افراد در تمامی جایگاه‌ها دما و سرعت یکنواختی ایجاد می‌کنند.

در این پژوهش تأثیر دو عامل فردی جنسیت و شاخص توده بدنی<sup>۱</sup> بر شرایط احساس حرارتی افراد حاضر در استخر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج برای هر جنسیت برای سه حالت تناسب وزنی (سلامت وزنی) ( $BMI < 18/5$ )، فرد لاغر ( $18/5 < BMI < 24/9$ )، فرد چاق ( $BMI > 30$ ) برای حالت‌های مختلف دریچه ورودی هوا در جداول ۳ تا ۶ ارائه شده است. نتایج برای دریچه در کف در جدول ۳، برای دریچه در سقف در جدول ۴، برای دریچه ورودی از پایین دیوار جانبی استخر در جدول ۵ و برای دریچه در بالای دیوار جانبی در جدول ۶ نشان داده شده است.

#### جدول ۵: نتایج برای دریچه ورودی از پایین دیوار جانبی استخر

Table 5. The results for the case that the inlet diffusers located at bottom of side walls

احساس حرارتی				شاخص توده بدنی	جنسیت
جایگاه ۴	جایگاه ۳	جایگاه ۲	جایگاه ۱		
-۰/۴	-۰/۴۴	-۰/۵۱	-۰/۴۷	فرد با سلامت وزنی	مرد
-۰/۴۴	-۰/۵۵	-۰/۵۹	-۰/۵۷	فرد لاغر	
-۰/۲۷	-۰/۳۱	-۰/۴۴	-۰/۳۵	فرد دارای اضافه وزن	
-۰/۴۲	-۰/۴۶	-۰/۵۴	-۰/۵۲	فرد با سلامت وزنی	زن
-۰/۴۷	-۰/۶۱	-۰/۶۴	-۰/۶۲	فرد لاغر	
-۰/۲۹	-۰/۳۵	-۰/۴۷	-۰/۳۸	فرد دارای اضافه وزن	

#### جدول ۶: نتایج برای دریچه ورودی از بالای دیوار جانبی استخر

Table 6. The results for the case that the inlet diffusers located at top of side walls

احساس حرارتی				شاخص توده بدنی	جنسیت
جایگاه ۴	جایگاه ۳	جایگاه ۲	جایگاه ۱		
-۰/۳۹	-۰/۳۷	-۰/۳۷	-۰/۳۷	فرد با سلامت وزنی	مرد
-۰/۵۱	-۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۴۷	فرد لاغر	
-۰/۲۷	-۰/۲۴	-۰/۲۴	-۰/۲۴	فرد دارای اضافه وزن	
-۰/۴۳	-۰/۴	-۰/۴	-۰/۴	فرد با سلامت وزنی	زن
-۰/۵۵	-۰/۵۳	-۰/۵۳	-۰/۵۳	فرد لاغر	
-۰/۳۱	-۰/۲۹	-۰/۲۹	-۰/۲۹	فرد دارای اضافه وزن	

مطابق شکل ۳-الف دریچه ورودی هوا بیشترین تأثیر را بر روی نزدیک‌ترین جایگاه (جایگاه ۱) داشته و برای جایگاه ۲ و ۳ به علت فاصله گرفتن از دریچه، میانگین دما مانند سایر پارامترها یکنواخت باقی می‌ماند. زیرا جایگاه ۱ در راستای ارتفاع با هوای گرم ورودی از دریچه هم‌پوشانی داشته و در نتیجه به شدت تحت تأثیر هوای ورودی از دریچه قرار می‌گیرد. شکل ۳-ب نشان می‌دهد که هنگام ورود هوا از دریچه واقع در سقف، هوای گرم پس از ورود به سالن در قسمت بالای استخر جمع شده و اثرگذاری آن در قسمت پایین‌تر سالن کاهش می‌یابد. در نتیجه مقادیر میانگین‌گیری شده نشان داده شده در جدول ۲ برای جایگاه‌ها یکنواخت است. در شکل ۳-ج به علت جهت دریچه ورودی هوا و تأثیر مستقیم بر ناحیه حرکت افراد مقادیر دما در جایگاه‌های ۱ تا ۳ نسبت به سایر دریچه‌های ورودی بیشتر است در نتیجه افراد واقع در جایگاه‌ها تأثیر بیشتری از هوای ورودی از دریچه به نسبت سایر حالات دریچه ورودی قرار می‌گیرند. نکته قابل توجه این است که به علت کوچک بودن جت ورودی هوا در ابتدای ورود به محیط سالن استخر جایگاه ۱ به اندازه جایگاه‌های ۲ و ۳ تأثیر نمی‌پذیرد. مطابق حالت دریچه در سقف، حالت دریچه ورودی هوا در بالای دیوار جانبی که در شکل

#### جدول ۳: نتایج برای دریچه ورودی از کف استخر

Table 3. The results for the case that the inlet diffusers located at hall floor

احساس حرارتی				شاخص توده بدنی	جنسیت
جایگاه ۴	جایگاه ۳	جایگاه ۲	جایگاه ۱		
-۰/۴۵	-۰/۴۲	-۰/۴	-۰/۵۸	فرد با سلامت وزنی	مرد
-۰/۵۲	-۰/۵۴	-۰/۵۱	-۰/۶۳	فرد لاغر	
-۰/۲۷	-۰/۳۱	-۰/۳۱	-۰/۳۵	فرد دارای اضافه وزن	
-۰/۴۶	-۰/۴۵	-۰/۴۲	-۰/۶۶	فرد با سلامت وزنی	زن
-۰/۵۵	-۰/۵۶	-۰/۵۵	-۰/۷۱	فرد لاغر	
-۰/۳	-۰/۳۳	-۰/۳۳	-۰/۴۳	فرد دارای اضافه وزن	

#### جدول ۴: نتایج برای دریچه ورودی از سقف استخر

Table 4. The results for the case that the inlet diffusers located at hall ceiling

احساس حرارتی				شاخص توده بدنی	جنسیت
جایگاه ۴	جایگاه ۳	جایگاه ۲	جایگاه ۱		
-۰/۵۱	-۰/۴	-۰/۴۴	-۰/۴۹	فرد با سلامت وزنی	مرد
-۰/۵۶	-۰/۴۷	-۰/۵	-۰/۵۴	فرد لاغر	
-۰/۲۸	-۰/۲۵	-۰/۳	-۰/۲۳	فرد دارای اضافه وزن	
-۰/۵۳	-۰/۴۳	-۰/۴۶	-۰/۵۳	فرد با سلامت وزنی	زن
-۰/۶۲	-۰/۴۷	-۰/۵۳	-۰/۶۱	فرد لاغر	
-۰/۳	-۰/۲۷	-۰/۳۲	-۰/۳۵	فرد دارای اضافه وزن	

1 BMI

محدوده احساس حرارتی خارج شده است. با توجه به این که مقدار شاخص احساس حرارتی در جایگاه ۱ خیلی نزدیک به حد نهایی بازه استاندارد است انتظار می‌رود که با حساسیت بیشتر زنان به سرما برای یک زن این جایگاه از محدوده آسایش خارج شود. نتایج نشان دهنده این است که برای یک زن با سلامت وزنی جایگاه ۱ نیز مانند جایگاه ۴ به مقدار  $0.03$  واحد از محدوده استاندارد آسایش حرارتی فاصله گرفته است. نوع پاشش هوا در این دریچه باعث می‌شود که تأثیر دریچه ورودی بر جایگاه ۱ نسبت به حالت دریچه در کف کاهش پیدا کرده و دما و سرعت برای دریچه ۱ تا ۳ یکنواخت باشد. ولی تأثیر دریچه خروجی هوا بر دریچه ۴ باعث شده است تا سرعت و دما مطابق جدول ۲ بیشتر از سایر دریچه‌ها بوده و بر هم کنش این تغییرات باعث می‌شود شرایط آسایش حرارتی نسبت به سایر جایگاه‌ها بیشتر از حالت خنثی فاصله داشته باشد. برای یک مرد لاغر جایگاه‌های ۲ و ۳ دارای احساس حرارتی مطلوب بوده ولی جایگاه‌های ۱ و ۴ به مقدار  $0.04$  و  $0.06$  واحد از محدوده استاندارد خارج شده و فرد احساس سرما دارد. برای یک زن لاغر فقط جایگاه ۳ کمتر از مقدار  $-0.05$  بوده و سایر جایگاه‌ها بین  $0.03$  تا  $0.12$  واحد از محدوده استاندارد خارج بوده و در ناحیه احساس سرما قرار دارند. همانند دریچه ورودی هوا در حالت قبل در این دریچه ورودی نیز برای افراد دارای اضافه وزن شرایط آسایش حرارتی مطلوب و استاندارد در تمامی جایگاه‌ها برقرار است و جایگاه ۳ با داشتن احساس حرارتی  $-0.25$  برای مردان و  $-0.27$  برای زنان کمترین فاصله تا حالت خنثی را دارد. با این وجود این دریچه نیز به علت داشتن برخی حالات که از محدوده استاندارد آسایش خارج هستند دارای یکنواختی برای گروه‌های مورد بررسی نیست و افراد در برخی حالات دارای احساس سرما هستند.

مطابق جدول ۵ برای دریچه ورودی از پایین دیوار جانبی به علت عرض کم جت هوای ورودی به سالن و نزدیکی به دریچه، جایگاه ۱ تأثیر کمتری نسبت به جایگاه ۲ از دریچه ورودی هوا می‌پذیرد. دریچه ورودی هوا در جایگاه ۱ قسمت کمی را تحت تأثیر قرار می‌دهد در حالی که در جایگاه ۲ هوای ورودی بیشتر پخش شده و قسمت بیشتری از جایگاه ۲ را تحت تأثیر سرعت و دمای خود قرار داده و در نتیجه سرعت و دمای بالاتری در جایگاه ۲ نسبت به جایگاه ۱ وجود دارد. همچنین با پخش شدن هوای گرم ورودی به سمت استخر در جایگاه ۳ بیشترین دمای هوا ایجاد می‌شود با این تفاوت که اثر سرعت دریچه ورودی کم است. در نتیجه انتظار داریم که فرد در جایگاه ۲ به علت تأثیر پذیری بیشتر از دریچه ورودی هوا به نسبت جایگاه ۱ و ۳ بیشتر احساس سرما داشته باشد. برای یک مرد با سلامت وزنی جایگاه‌های ۱، ۳ و ۴ در محدوده آسایش حرارتی بوده و جایگاه ۴ یا مقدار احساس حرارتی  $-0.04$  واحد نزدیک‌ترین حالت به شرایط خنثی است. جایگاه ۲ دارای  $0.01$  واحد انحراف از حالت استاندارد بوده و فرد در این جایگاه نسبت به سایر جایگاه‌ها احساس سرما دارد. جایگاه ۱ و ۲ برای یک زن با سلامت وزنی به ترتیب به مقدار بسیار اندک از محدوده استاندارد خارج شده ولی جایگاه ۳ و ۴ دارای احساس حرارتی مطلوب می‌باشند. برای مرد و زن لاغر تنها جایگاه

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که در هنگام تغییر شرایط آسایش حرارتی و خروج از حالت خنثی، زن‌ها شرایط سردتری نسبت به مردها را تجربه می‌نمایند و به صورت کلی زنان در مقایسه با مردها نسبت به شرایط سرما حساس‌تر هستند که با نتایج لان و همکاران [۱۵] سازگاری دارد. شرایط طراحی استخر بر اساس استانداردهای پیشنهادی دست‌نامه کاربردهای تأسیساتی اشرفی [۴] صورت گرفته است و بیشترین اختلاف احساس حرارتی به علت تفاوت جنسیت بین زن و مرد در حالت دریچه ورودی از کف اتفاق افتاده و مقدار آن  $0.08$  واحد در احساس حرارتی است. این تفاوت بیان‌کننده این است که در این حالت زنان نسبت به مردان احساس سردتری در شرایط یکسان دارند.

بیشترین تغییرات در مقادیر شاخص آسایش حرارتی در نتایج به ازای تغییرات در تناسب و شاخص توده بدنی افراد وجود دارد. قابل مشاهده است که در مقایسه با افراد دارای تناسب وزنی، هر چه فرد لاغرتر باشد احساس حرارتی او به سمت سرما و هر چه فرد دارای اضافه وزن بیشتری باشد به سمت گرما متمایل می‌شود. این در حالی است که بر اساس مطالعات تجربی نیز افراد دارای اضافه وزن در شرایط مواجه شدن با سرما نسبت به افراد لاغر تطابق بیشتری از خود نشان می‌دهند [۱۶].

مطابق جدول ۳ برای دریچه ورودی هوا از کف استخر، برای فرد با سلامت وزنی به جز در جایگاه ۱ که مطابق آنچه پیش از این گفته شده به شدت تحت تأثیر دریچه ورودی است شرایط آسایش حرارتی در محدوده مطلوب (بین  $-0.05$  تا  $0.05$ ) قرار دارد. در جایگاه ۱ برای مرد مقدار شاخص احساس حرارتی به اندازه  $0.08$  و برای زن  $0.16$  واحد از محدوده استاندارد خارج بوده و فرد احساس سرما خواهد داشت. علت این امر تأثیرپذیری زیاد این دریچه از سرعت دریچه ورودی هوا است که باعث می‌شود بیشترین مقدار سرعت در این حالت رخ دهد. این دریچه برای مرد و زن لاغر در هیچ جایگاهی در محدوده استاندارد قرار نداشته و در این حالت نیز به علت تری پوست، افراد احساس سرما خواهند داشت. در این حالت برای جایگاه ۲ تا ۴ انحراف احساس حرارتی از مقدار استاندارد بین  $0.01$  تا  $0.06$  واحد است ولی دریچه ۱ تا  $0.21$  اختلاف با حالت استاندارد را دارد که برای فرد مناسب نیست. برای فرد دارای اضافه وزن با توجه به تطابق بهتر با سرما که پیش از این ذکر شد در همه جایگاه‌ها و برای هر دو جنسیت شرایط مناسب و استاندارد برای آسایش حرارتی برقرار است. همچنین نسبت به سایر افراد آسایش حرارتی به حالت خنثی نزدیک‌تر بوده و برای مردها بین  $-0.27$  تا  $-0.35$  و برای زن‌ها بین  $-0.03$  تا  $-0.43$  واحد احساس حرارتی می‌باشد که در محدوده مجاز (بین  $-0.05$  تا  $0.05$ ) قرار دارد. به صورت کلی برای این دریچه در شرایط مختلف احساس حرارتی به صورت یکنواخت نبوده و در برخی حالات افراد احساس سرما دارند.

برای دریچه ورودی هوا از سقف استخر مطابق جدول ۴ مشاهده می‌شود برای یک مرد با تناسب وزنی شرایط آسایش حرارتی در جایگاه‌های ۱ تا ۳ در محدود مجاز قرار گرفته است اما در جایگاه ۴ به اندازه  $0.01$  واحد از

افراد از محیط استخر مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از بررسی ۹۶ حالت متفاوت نتایج نشان داد که احساس حرارتی زنان در شرایط یکسان بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۸ واحد کمتر از احساس حرارتی مردان بوده و در نتیجه احساس سرمای بیشتر دارند. همچنین، نتایج حاکی از آن است که شاخص توده بدنی می‌تواند باعث تغییرات قابل توجهی در احساس حرارتی افراد شود. به طوری که افراد لاغر دارای احساس حرارتی بین ۰/۰۴ تا ۰/۱۵ واحد کمتر از یک فرد دارای سلامت وزنی بوده و این اختلاف زیاد باعث می‌شود تا افراد لاغر احساس سرمای بیشتری داشته باشند. از سوی دیگر افراد دارای اضافه وزن نسبت به افراد دارای سلامت وزنی بین ۰/۰۷ تا ۰/۲۳ واحد احساس حرارتی بیشتری دارند. این مقدار اختلاف قابل توجه بیان کننده این است که آن‌ها در این شرایط با سرما سازگاری بیشتری داشته و نسبت به افراد سالم احساس حرارتی خنثی‌تری دارند. همچنین در بین درجه‌های بررسی شده هوای ورودی از درجه بالای دیوار جانبی احساس حرارتی میانگین در حدود ۰/۳۷- برای مرد و ۰/۴۱- برای زن با تناسب وزنی را ایجاد می‌کند که نسبت به سایر درجه‌ها بهترین حالت را از نظر یکنواختی دارد. همچنین به ازای این درجه ورودی هوا تعداد ۱۹ حالت از ۲۴ حالت ممکن در محدوده مطلوب آسایش حرارتی قرار گرفته که نسبت به سایر درجه‌های ورودی هوا بهترین شرایط را دارد.

### فهرست علائم

$A_D$	سطح بدن، $m^2$
$g$	شتاب گرانش، $ms^{-2}$
$M$	نرخ متابولیک، $Wm^{-2}$
$P$	فشار، Pa
$Q$	تولید یا تبادل حرارت بر واحد سطح، $Wm^{-2}$
$Q_{cr-sk}$	تولید یا تبادل حرارت بر واحد سطح، $Wm^{-2}$
$\bar{S}$	نیروهای حجمی، $kgm^{-2}s^{-2}$
$T$	دما، K
TSENS	شاخص احساس حرارتی (بی‌بعد)
$V$	سرعت، $ms^{-1}$
$W$	کار خارجی، $Wm^{-2}$

### علامت یونانی

$\alpha$	ضریب نفوذ جرمی، $kgm^{-3}$
$\beta$	ضریب انبساط حجمی، $K^{-1}$
$\eta$	بازده (بی‌بعد)
$\lambda$	نسبت سطح بخش‌های برهنه بدن به سطح کل بدن (بی‌بعد)
$\mu$	نسبت جرم بخش‌های برهنه بدن به جرم کل بدن (بی‌بعد)

۴ در محدوده استاندارد قرار گرفته و سایر جایگاه‌ها بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۴ واحد از محدوده استاندارد خارج شده و فرد احساس سرما خواهد داشت. به علت نوع قرارگیری درجه ورودی هوا و تأثیرگذاری بیشتر آن بر جایگاه‌های ۱ تا ۳ نسبت به جایگاه ۴ انتظار نتایج بهتر در جایگاه ۴ وجود داشت. برای مرد و زن دارای اضافه وزن تمامی جایگاه‌ها در محدوده آسایش حرارتی مطلوب و استاندارد قرار گرفته و جایگاه ۴ نزدیک‌ترین مقدار به حالت خنثی را دارد. با این حال این درجه نیز نتایج یکنواختی برای افراد حاضر را نتیجه نمی‌دهد و افراد در این حالت نیز مانند دو حالت دیگر درجه ورودی هوا که بررسی گردید احساس سرما خواهند داشت.

مطابق جدول ۲ در درجه ورودی در بالای دیوار جانبی به علت نوع پاشش هوا، جایگاه‌های ۱ تا ۳ یکنواخت بوده و تأثیر یکسانی از درجه ورودی هوا می‌پذیرند و در جایگاه ۴ نیز تحت تأثیر درجه خروجی هوا سرعت افزایش پیدا کرده است. در نتیجه انتظار می‌رود تا نتایج شرایط آسایش حرارتی نیز در جایگاه‌های ۱ تا ۳ یکنواخت و یکسان باشد. مطابق جدول ۶ مشاهده می‌شود که برای مردان با سلامت وزنی جایگاه ۱ تا ۳ مقدار احساس حرارتی ۰/۳۷- و در جایگاه ۴ مقدار احساس حرارتی ۰/۳۹- را دارد که همه علاوه بر قرارگیری در محدوده مطلوب و استاندارد نسبت به سایر درجه‌ها به حالت خنثی نیز نزدیک‌تر هستند. این یکنواختی برای زن با سلامت وزنی نیز وجود داشته و جایگاه‌ها ۱ تا ۳ مقدار یکسان ۰/۴- و جایگاه مقدار ۰/۴۳- واحد احساس حرارتی را داشته که مانند دیگر جنسیت در این حالت درجه، نسبت به سایر درجه‌های مورد بررسی به مقدار خنثی احساس حرارتی نزدیک‌تر می‌باشند. برای یک مرد لاغر جایگاه‌های ۱ تا ۳ در محدوده استاندارد بین ۰/۵- تا ۰/۵ قرار داشته و جایگاه ۴ فقط به اندازه ۰/۰۱ واحد از محدوده خارج شده است. اما برای زن لاغر تمامی جایگاه‌ها از محدوده خارج بوده ولی مقدار این انحراف در مقایسه با سایر درجه‌ها کم‌تر بوده و بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۵ واحد است. برای افراد دارای اضافه وزن به ازای هر دو جنسیت آسایش حرارتی در محدوده استاندارد قرار داشته و افراد احساس سرما ندارند. همچنین این توده بدنی (اضافه وزن) مانده توده‌های بدنی دیگر مربوط به این درجه نسبت به سایر درجه‌ها نزدیک‌ترین فاصله تا مقدار خنثی را دارند. همچنین در این حالت بیشترین یکنواختی مشاهده می‌شود بطوری که جایگاه‌های ۱ تا ۳ در همه حالات نتایج یکسانی را ارائه می‌دهند که با نتایج جایگاه ۴ بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۴ واحد تفاوت دارد. این درجه ورودی هوا دارای بیشترین حالاتی است که در آن آسایش حرارتی در محدوده مطلوب و استاندارد قرار گرفته است.

### ۶- نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل آسایش حرارتی سه نقطه‌ای انفرادی به ارزیابی تأثیر عوامل فردی بر شرایط آسایش حرارتی در یک استخر سرپوشیده پرداخته شده است. این بررسی برای ۴ حالت درجه ورودی هوا صورت گرفته و تأثیر جنسیت و شاخص توده بدنی بر درک احساس حرارتی



edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2007.

- [5] K.W. Rundell, M. Sue-Chu, Air quality and exercise-induced bronchoconstriction in elite athletes, *Immunology and Allergy Clinics of North America*, 33(3) (2013) 409-421.
- [6] G. Revel, M. Arnesano, Measuring overall thermal comfort to balance energy use in sports facilities, *Measurement*, 55 (2014) 382-393.
- [7] ISO 7726, *Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities*, International Organization for Standardization, Geneva, 1998.
- [8] A. Zolfaghari, M. Hooshmand, A. Foadaddini, P. Ebrahimi Naghani, Modeling mutual effects of evaporation, thermal sensation and concentration of chlorine contaminant in an indoor swimming pool, *Modares Mechanical Engineering*, 16(7) (2016) 179-188 (in Persian).
- [9] A.P. Gagge, A. Fobelets, L. Berglund, A standard predictive index of human response to the thermal environment, *ASHRAE Transactions*, 92(2) (1986) 709-731.
- [10] ASHRAE, *ASHRAE Handbook of fundamentals*, SI edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2009.
- [11] P.O. Fanger, *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.
- [12] H. Zhang, *Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environments*, Ph.D Thesis, University of California, Berkeley, 2003.
- [13] A. Zolfaghari, M. Maerefat, A new simplified model for evaluating non-uniform thermal sensation caused by wearing clothing, *Building and Environment*, 45(3) (2010) 776-783.
- [14] F. Davoodi, H. Hasanzadeh, S.A. Zolfaghari, M. Marefat, Developing three-node model to estimate individual characteristics effects on thermal sensation and human body thermoregulation, *Modares Mechanical Engineering*, 16(8) (2016) 149-158 (in Persian).
- [15] L. Lan, Z. Lian, W. Liu, Y. Liu, Investigation of gender difference in thermal comfort for Chinese people, *European Journal of Applied Physiology*, 102(4) (2008) 471-480.
- [16] A.M. Ooijen, K.R. Westerterp, L. Wouters, P.F. Schoffelen, A.A. Steenhoven, W.D.M. Lichtenbelt, Heat production and body temperature during cooling and rewarming in overweight and lean men, *Obesity*, 14(11) (2006) 1914-1920.

$\rho$	چگالی، $\text{kgm}^{-3}$
$v$	لزجت سینماتیکی، $\text{m}^2\text{s}^{-1}$
زیرنویس	
b	مربوط به بدن
bl	مربوط به خون
br	برهنه
c	سرد
cl	لباس
conv	جابه‌جایی
cr	مرکز بدن
eff	مؤثر
ev	تبخیری
h	گرم
ov	کلی
rad	تابشی
ref	مرجع
res	تنفسی
sk	پوست
t	اغتشاشی

## منابع

- [1] E. Trianti-Stourna, K. Spyropoulou, C. Theofylaktos, K. Droutsa, C. Balaras, M. Santamouris, D. Asimakopoulos, G. Lazaropoulou, N. Papanikolaou, Energy conservation strategies for sports centers: Part B. *Swimming pools, Energy and Buildings*, 27(2) (1998) 123-135.
- [2] Z. Li, P. Heiselberg, CFD Simulations for water evaporation and airflow movement in swimming baths indoor environmental engineering, Aalborg University, Denmark, Report for the project Optimization of ventilation system in swimming bath, (2005).
- [3] M. Shah, Rate of evaporation from undisturbed water pools to quiet air: evaluation of available correlations, *International Journal of HVAC&R Research*, 8(1) (2002) 125-131.
- [4] ASHRAE, *ASHRAE Handbook - HVAC Applications*, SI

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

M. Hooshmand, F. Davoodi, A. Foadaddini, S. A. Zolfaghari, H. Hasanzadeh, Evaluating the Effects of Individual Characteristics on Thermal Sensation in an Indoor Pool with Different Arrangements for Inlet Air Diffusers, *Amirkabir J. Mech. Eng.*, 50(6) (2018) 1175-1184.  
DOI: 10.22060/mej.2017.12798.5477



