



## بهینه‌سازی سیستم گرمایش هیبریدی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم‌های مختلف ایران جهت تامین آسایش حرارتی

نبی جهانتیغ<sup>۱\*</sup>، علی کشاورز<sup>۲</sup> و مسعود میرزایی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

<sup>۲</sup> دانشیار، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

<sup>۳</sup> دانشیار، مهندسی هوا و فضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۲۰؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۲/۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۸

### چکیده

هدف از این مطالعه، بهینه‌سازی سیستم گرمایش هیبریدی در یک ساختمان مسکونی برای اقلیم‌های مختلف در ایران به منظور کاهش اتلافات حرارتی در ساختمان هم‌زمان با تامین آسایش حرارتی می‌باشد. دمای خشک، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا از عوامل تاثیرگذار بر آسایش حرارتی بوده که در اقلیم‌های مختلف، متفاوت می‌باشند. در سیستم هیبریدی، از سیستم گرمایش جابجایی برای گردش هوا، تامین رطوبت و گرمایش اولیه تا ۱۰ درجه سلسیوس و از گرمکن تابشی جهت تامین آسایش حرارتی در اقلیم‌های مختلف استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی، یک مانکن مجازی با ابعاد و شکل فیزیولوژیکی واقعی به صورت ایستاده درون یک اتاق قرار گرفته و جریان اطراف آن حل شده است. برای بررسی میدان جریان، انتقال حرارت و آسایش حرارتی معادلات حاکم حل و مدل K-ε, RNG و Do برای مدل‌سازی اثرات مغشوش و تابشی استفاده شده است. نتایج این تحقیق در مقایسه با نتایج ارائه شده در سایر مراجع از مطابقت خوبی برخوردار است. تاثیر سرعت، دمای ورودی، دما و سطح گرمکن بر آسایش حرارتی و مقدار بهینه آنها در هر اقلیم تعیین شده است. در سیستم هیبریدی توزیع جریان اطراف شخص همگن شده و در سرعت کمتر ضمن تامین آسایش، میزان اتلافات حرارتی کاهش می‌یابد.

**کلمات کلیدی:** گرمایش هیبریدی؛ آسایش حرارتی؛ اقلیم‌های مختلف؛ انتقال حرارت؛ کاهش اتلافات حرارتی.

## Hybrid heating system optimization of a residential building at different climates in Iran to have thermal comfort

N. Jahantigh<sup>1,\*</sup>, A. Keshavarz<sup>2</sup> and M. Mirzaie<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Mech. Eng., K.N.T. University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assoc. Prof., Mech. Eng., K.N.T. University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Assoc. Prof., Aero Space. Eng., K.N.T. University, Tehran, Iran

### Abstract

The aim of this paper is to optimized hybrid thermal system in a residual building for various climates in Iran having thermal comfort and reduce heat losses. Thermal comfort is affected by temperature, humidity and velocity of the air flow. These parameters are different in various climates. The conventional method is used to circulate air flow, to provide the humidity and heat the air in the room around 10°C. than it is raised to the thermal comfort condition by radiant heater. In this simulation a 3D model of a virtual standing thermal manikin with real dimensions is considered. The governing equations for obtaining the thermal comfort condition are numerically solved. K-ε, RNG and DO methods are used for turbulence and radiation respectively. The obtained numerical results have a good agreement with the experimental results reported in the literature. The affect of inlet temperature and velocity, temperature and surface of the heater on the thermal comfort and their optimized values are determined in various climates. The results indicate that flow field around the manikin is more uniform in the hybrid system. The thermal comfort occurs in lower temperature and this causes the heat transfer losses to be decreased.

**Keywords:** Hybrid heating; Thermal comfort; Various climates; Heat transfer; Heat losses decrease.

## ۱- مقدمه

در ایران اقلیم‌های مختلف آب و هوایی وجود دارد که از سیستم‌های مختلف گرمایشی برای تهویه مطبوع در این نواحی استفاده می‌شود. این سیستم‌ها انرژی زیادی مصرف می‌کنند و لازم است که تنظیم سیستم‌ها بر اساس واقعیت‌های ناشی از کمبود انرژی به سرعت انجام شود [۱].

روش‌های مختلفی برای افزایش کارایی سیستم‌ها وجود دارد. یکی از این روش‌ها، استفاده از سیستم‌های هیبریدی برای گرمایش می‌باشد. همچنین با تغییر در جنس مصالح در اقلیم‌های مختلف یعنی تغییر مقاومت حرارتی دیواره‌ها می‌توان میزان افت انتقال حرارت را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

در یک فضای مسکونی همیشه فضاهایی وجود دارد که امکان گرمایش آن به روش تابش وجود ندارد و لازم است از طریق جابجایی حرارت مورد نظر در آن ناحیه تامین گردد. بنابراین استفاده از هر یک از سیستم‌های گرمایشی به تنهایی باعث بالا رفتن مصرف انرژی می‌شود. آسایش حرارتی مهمترین پارامتر در فرایند طراحی سیستم‌های گرمایشی محیط‌های داخلی می‌باشد. پارامترهای فیزیکی مانند دمای هوا، سرعت جریان هوا، رطوبت نسبی و دمای متوسط تابشی و پارامترهای شخصی مانند میزان پوشش و فعالیت یا همان نرخ متابولیسم بیشترین تاثیر را بر آسایش حرارتی دارند [۲]. آسایش حرارتی به وسیله شاخص پی ام وی<sup>۱</sup> بیان می‌شود. در این شاخص اثر شش پارامتر موثر بر آسایش حرارتی شامل سطح فعالیت، میزان پوشش، سرعت هوا، دمای هوا، رطوبت هوا و میانگین دمای تشعشعی به صورت ریاضی آورده شده است. این مدل پرکاربردترین مدل مورد استفاده می‌باشد و این شاخص در واقع میزان متوسط گروه بزرگی از افراد را در مورد آسایش حرارتی پیش بینی می‌نماید [۳]. با توجه به این که دمای آسایش هم متاثر از دمای جابجایی و هم متاثر از دمای تابشی است در نتیجه سیستم‌های هیبریدی ضمن استفاده از هردو روش انتقال حرارت، آسایش حرارتی را نیز به نحو مطلوب تامین می‌کنند. این سیستم‌ها در مقایسه با سیستم‌هایی که یک منبع برای تولید گرما دارند، از قابلیت-اطمینان بالاتری برخوردار هستند.

استانداردهای آسایش حرارتی میزان مصرف انرژی را در سیستم‌های گرمایشی مشخص می‌کنند. این انرژی با مصرف سوخت فسیلی و سایر منابع در نواحی مختلف با اقلیم‌های مختلف تامین می‌شود [۴]. با توجه به نیاز به کاهش هزینه‌ها در طراحی سیستم‌های تهویه، بهینه‌نمودن مصرف انرژی و نیز تامین آسایش حرارتی در محیط‌های داخلی تحقیقات بسیاری در این حوزه انجام شده است. این تحقیقات شامل مدل‌ها و شاخص‌ها [۵ و ۶]، کارهای تجربی در حوزه آب و هوایی [۵]، انتشار استانداردها و روش‌های ارزیابی حرارتی [۷] می‌باشند. به کمک سیستم‌های گرمایش هیبریدی می‌توان دمای آسایش حرارتی بهینه‌ای که ترکیبی از دمای درونی محیط و هم‌چنین دما محیط بیرون می‌باشد به منظور کاهش اتلافات ارایه نمود.

در اقلیم‌های مختلف با بهره‌گیری از سیستم‌های هیبریدی برای گرمایش با تغییر سطح و دمای گرمکن تابشی، موقعیت دریچه ورود و خروج، سرعت هوای ورودی و جنس مصالح می‌توان ضمن کاهش اتلاف حرارتی به آسایش حرارتی رسید. تحقیقات گذشته حاکی از این است که از بین سیستم‌های مختلفی که برای گرمایش محیط‌های داخلی استفاده شده است مردم در سیستم‌های دما پایین احساس آسایش حرارتی بیشتری دارند [۸]. در تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده تاکنون، بررسی تاثیر همه پارامترهای موثر بر آسایش حرارتی به صورت همزمان امکان پذیر نبوده است. بنابراین محققین روش‌های عددی را برای حل میدان جریان به همراه کارهای آزمایشگاهی در سال‌های اخیر دنبال نموده‌اند. در روش‌های عددی با شبیه‌سازی میدان جریان به حل همزمان معادلات جریان و انتقال جرم پرداخته شده است [۹]. در سال‌های اخیر از گرمکن‌ها تابشی دما بالا برای تامین آسایش حرارتی محیط‌های داخلی استفاده شده است و اثرات پنجره بر آسایش حرارتی نیز به‌طور خاص مورد بررسی قرار گرفته است. این روش برای فضاهای بسیار بزرگ مناسب می‌باشند [۱۰]. در نظر گرفتن هندسه واقعی بدن انسان در شبیه‌سازی عددی بسیار مشکل و پیچیده می‌باشد. و اعمال خواص ترموفیزیولوژیکی انسان در محاسبات عددی بر دشواری حل افزوده است. در مطالعات قبلی هندسه واقعی در نظر گرفته نشده است و با ساده‌سازی‌های بسیار زیادی از شکل‌های استوانه، مکعب یا سطوح معادل استفاده شده است.

<sup>1</sup> Predicted Mean Vote

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

معادله دوم، معادله بقای مومنتوم می‌باشد.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

مقدار تانسور تنش در معادله (۲) به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\vec{\tau} = \mu \left[ (\nabla \vec{V} + \nabla \vec{V}^T) \right] - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V} \vec{I} \quad (3)$$

معادله انرژی به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{V} (\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\vec{\tau}_{eff} \cdot \vec{V})) + S_h \quad (4)$$

سه جمله اول در سمت راست معادله انرژی، بیان کننده انتقال انرژی به صورت هدایت، پخش گونه‌ها و پراکندگی لزجت می‌باشند.

جمله E در معادله انرژی براساس رابطه ۵ بیان می‌شود.

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} \quad (5)$$

مقدار h براساس رابطه ۶ بیان می‌گردد.

$$h = \sum_j Y_j h_j + \frac{p}{\rho} \quad (6)$$

معادله بقای انتقال جرم نیز به صورت کلی زیر تعریف می‌شود.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_j) + \nabla \cdot (\vec{V} Y_j) = \nabla \cdot \left( -(\rho D_{j,m} + \frac{\mu_t}{sc_t}) \nabla Y_j - D_{T,j} \frac{\nabla T}{T} \right) \quad (7)$$

شاخص پی ام وی به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود.

$$PMV = (0.303 \exp(-0.035M) + 0.028)L \quad (8)$$

بار حرارتی بر اساس معادله (۹) به دست می‌آید.

$$M - W = q_c + E_{sk} + q_{res} + E_{res} \quad (9)$$

در معادله (۹)  $E_{sk}$  بر اساس رابطه (۱۰) است.

$$E_{sk} = \frac{w(P - P_a)}{R_{cl}} \quad (10)$$

$q_{res}$  و  $E_{res}$  به ترتیب از معادلات (۱۱) و (۱۲) محاسبه می‌شوند.

$$q_{res} = 0.0014M(34 - T) \quad (11)$$

[۲ و ۱۰]. برخی محققین با استفاده از مانکن مجازی و به کمک روش‌های عددی و آزمایشگاهی جریان درون اتاق را تحلیل و با حل میدان جریان به بررسی انتقال حرارت و جریان پرداخته‌اند [۶].

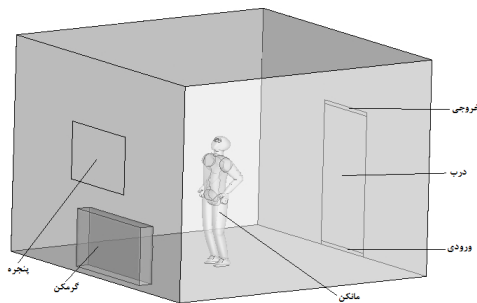
چنان که بیان شد، در تحقیقات گذشته برای بررسی میدان جریان ساده‌سازی‌های زیادی در هندسه مدل، بررسی اثرات تابشی، عدم بررسی اثرات پنجره با شیشه‌های شفاف اعمال شده است. در این مقاله ضمن استفاده از سیستم‌های هیبریدی سعی شده است این ساده‌سازی‌ها انجام نشود. به این منظور شکل فیزیولوژیکی مانکن کاملاً منطبق بر هندسه واقعی بدن در نظر گرفته شده است. اثرات تابشی نیز به دلیل استفاده از روش DO<sup>1</sup> برای محاسبات تابشی به صورت دقیق مورد محاسبه قرار گرفته است که تا کنون در سایر مطالعات با این دقت مورد ارزیابی قرار نگرفته است. همچنین این سیستم برای بررسی اثرات اقلیم‌های مختلف بر آسایش حرارتی و بر اساس اتلاف حرارتی کمتر پرداخته است. به این منظور در برخی اقلیم‌ها رطوبت یا سرعت هوای بیرون و یا حتی دمای هوا خارج برای تامین آسایش حرارتی در محیط داخلی استفاده شده است. در نتیجه توجه اساسی در این مقاله بر روی کاهش اتلافات انرژی توأم با تامین آسایش حرارتی با استفاده از سیستم‌های هیبریدی در اقلیم‌های مختلف بوده است.

## ۲- معادلات حاکم و روش حل

معادلات حاکم در این مساله معادلات پیوستگی، مومنتوم، انرژی و انتقال جرم همراه با در نظر گرفتن اثرات جابجایی آزاد هستند که به صورت عددی حل می‌شوند. به دلیل مغشوش بودن جریان، معادلات اغتشاش و برای بررسی اثرات تابشی معادلات تابشی نیز در این مساله باید حل گردند. در حالت تعادل حرارتی مقدار گرمای تولیدی متابولیسمی با مقدار حرارت انتقالی به محیط برابر می‌باشد. به کمک معادله فیزیولوژیکی حاکم بر بدن، مقادیر اتلاف حرارتی ناشی از تعریق، تنفس و تبخیر محاسبه می‌شود [۳]. معادله بقای جرم به صورت زیر است [۱۱].

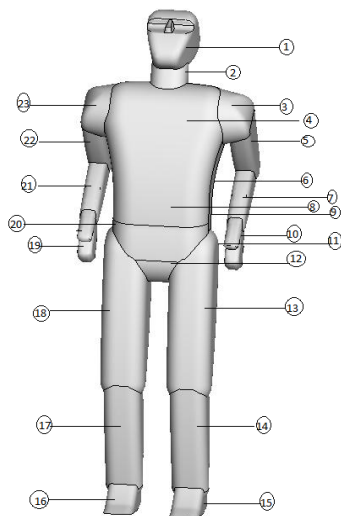
<sup>1</sup> Discrete Ordinates

پنجره و یک درب و دو دریچه در پایین و بالای این درب برای وارد نمودن رطوبت و نیز تامین گردش جریان و تامین حرارت جابه‌جایی مورد نیاز برای اتاق در نظر گرفته شده است. مدل و اتاق با نرم افزار سالید ورک ۲۰۱۱ طراحی شده است. این مدل با نرم افزار هایپرمش شبکه‌بندی شده است. اتاق به صورت استاندارد و با ابعاد ۴×۴×۳ متر می‌باشد. مانکن ۱/۷ متر قد و در حدود ۷۵ کیلوگرم وزن دارد. شکل فیزیولوژیکی طراحی شده اجازه مقایسه نتایج با مدل واقعی و نتایج تجربی را به ما می‌دهد. ابعاد پنجره ۱×۱/۲ متر و برای درب ۱×۲ متر می‌باشد.



شکل ۱- شماتیک کلی اتاق و گرمکن

اجزای مدل حرارتی به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است. کل مساحت سطح مانکن ۲/۳۱ متر مربع است.



شکل ۲- اجزای مدل حرارتی

$$E_{res} = 1.72 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) \quad (12)$$

به منظور حل جریان در این مدل از یک کد کامپیوتری سه بعدی پایا استفاده شده است که معادلات پیوستگی، مومنوم، انتقال حرارت و جرم را به طور هم‌زمان حل می‌کند. چون چگالی به طور مستقیم با فشار ارتباط ندارد معادله پیوستگی به عنوان معادله ای برای فشار استفاده می‌شود. الگوریتم سیمپل از رابطه بین اصلاحات فشار و سرعت استفاده می‌کند تا قانون بقای جرم را برآورده کند و میدان فشار را به دست آورد. این الگوریتم به علت انجام تنها یک مرحله تصحیح در هر تکرار، از الگوریتم پیزو سریع‌تر است و در جریانات پایا بهتر از پیزو عمل می‌کند. به طور کلی الگوریتم سیمپل در سلول‌های هرمی و چهار وجهی پایدارتر و دقیق‌تر از سایر الگوریتم‌ها عمل می‌کند.

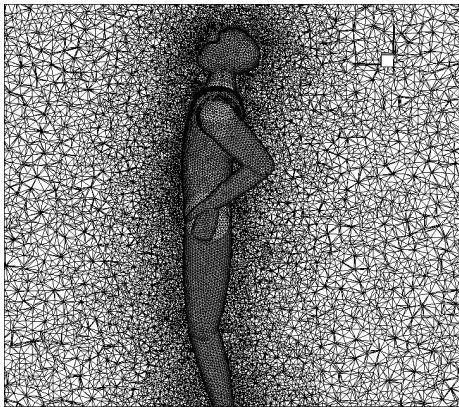
جملات جابه‌جایی با گسسته‌سازی مرتبه دوم مدل شده است این روش با وجود اینکه در هر تکرار از روش مرتبه اول کندتر است، اما در تعداد تکرار کمتری همگرا شده و در کل زمان حل را کاهش می‌دهد. به علاوه به علت درگیر کردن گره‌های بیشتری نسبت به گسسته‌سازی مرتبه اول، از دقت و پایداری بیشتری برخوردار است [۱۲].

علاوه بر معادلات فوق با داخل نمودن شتاب جاذبه، جابه‌جایی آزاد نیز وارد محاسبات شده است. مدل  $k-\epsilon$  RNG برای مدل‌سازی جریان مغشوش و روش DO برای بررسی اثرات تابشی در نظر گرفته شده است [۱۲]. علت انتخاب این مدل در میدان حل سه‌بعدی این مطالعه، پایداری و دقت بالای آن است. این مدل به طور گسترده‌ای در اعداد رینولدز بالا به همراه قانون دیواره بکار می‌رود که برای مدل‌سازی جریان در محیط‌های داخلی و جریان‌های با انتقال حرارت جابه‌جایی ترکیبی نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد. به دلیل اینکه مدل DO محدوده معینی از ضخامت‌های نوری را پوشش می‌دهد و دربرگیرنده حل تابشی در دیواره‌های نیمه‌شفاف می‌باشد و از طرفی هزینه محاسبات و هم‌چنین حافظه مورد نیاز در این مدل نسبتاً کم می‌باشد در این مطالعه برای بررسی تشعشع در مرزها بهره گرفته شده است.

### ۳- هندسه مساله

هندسه مساله شامل یک مانکن ایستاده و یک گرمکن تابشی که درون اتاق قرار گرفته است می‌باشد. مطابق شکل ۱ یک

تعداد سلول‌ها در این مدل، شامل ۵۸۷۴۳۶۹ سلول حجمی چهار وجهی و ۹۵۶۳۲۸۷ سلول سطحی است. شبکه محاسباتی بر روی سطح مانکن و فضای اتاق در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- شبکه محاسباتی در فضای اتاق

### ۲-۳- شرایط مرزی

با توجه به اینکه سیستم هیریدی برای اقلیم‌های مختلف به-کارگرفته شده است. برای هر اقلیم یک شهر که مشخصات آب و هوایی در آن توسط سازمان هواشناسی ارائه شده است در نظر گرفته شده است. شرایط محیط متناسب با شرایط هر اقلیم می‌باشد که در جدول ۲ آورده شده است.

### جدول ۲- شرایط محیط در اقلیم‌های مختلف [۱۳]

متوسط رطوبت نسبی	متوسط هوای خشک		متوسط رطوبت نسبی	تغییر دما	تغییر رطوبت نسبی
	دما	رطوبت نسبی			
۵۴	۸۷	۶/۷	۶/۸	۱۹	اهواز
۷۶	۹۴	۴/۵	۴/۲	۱۰/۱	بندر انزلی
۵۸	۸۴	-۷/۳	-۷/۱	۱/۹	تبریز
۴۷	۸۰	-۳/۸	-۲/۹	۷/۷	تهران
۵۰	۷۸	۱۲/۳	۱۵/۲	۲۴/۴	چابهار

دما برای سطوح با پوشش مانند پاهای، شکم و کمر برابر  $33/1^{\circ}\text{C}$  و برای قسمت‌های بدون پوشش مانند سر، گردن، بازو و دست‌ها برابر  $33/7^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. کسر جرمی بخار آب

نام و مساحت اجزای مدل در جدول ۲ آمده است.

### جدول ۱- نام و مساحت اجزای مختلف مدل

شماره	نام سطح مدل	مساحت $m^2$
۱	سر	۰/۱۵۸۹۸
۲	گردن	۰/۰۲۸۹۲۶
۳،۲۳	کتف چپ و راست	۰/۰۴۸۲۴۹
۴	سینه	۰/۲۳۴۸۱۲
۵،۲۲	بازوی چپ و راست	۰/۰۹۸۰۲۶
۶،۲۰	پهلوی چپ و راست	۰/۰۲۱۱۴۱
۷،۲۱	ساعد چپ و راست	۰/۰۶۸۷۱۵
۸	شکم	۰/۰۳۸۹۵۱
۹	کمر	۰/۲۱۰۵۰۲
۱۰،۱۹	مچ چپ و راست	۰/۰۵۲۱۶۳
۱۱	باسن	۰/۰۴۱۲۸۸
۱۲	لگن	۰/۰۲۷۳۱۳
۱۳،۱۸	ران چپ و راست	۰/۲۸۷۵۴۸
۱۴،۱۷	ساق چپ و راست	۰/۱۶۰۳۴۶
۱۵،۱۶	پای چپ و راست	۰/۰۵۱۳۶۶
۲/۳۱۵۸۱۴۳	کل	

### ۳-۱- شبکه محاسباتی

به علت وجود سطوح بسیار کوچک و با شکل هندسی بسیار پیچیده در مساله، عملاً استفاده از یک شبکه با سازمان در تمامی میدان حل امکان پذیر نیست. برای شبکه‌بندی، ابتدا سطح مدل با استفاده از یک شبکه بی‌سازمان مثلثی مش زده می‌شود. این نوع شبکه بندی، توانایی پوشش کوچک‌ترین سطوح مدل را نیز دارد. سپس فضای بین مدل و اتاق و گرمکن‌های حرارتی با الگوریتم تی‌گرید مش زده می‌شود. به علت اهمیت بررسی فضای اطراف شخص، اندازه شبکه در اطراف شخص باید ریز باشد برای انجام این کار از یک تابع توزیع مناسب که از لایه مرزی اطراف سطح آغاز و تا گام ماکزیمم ادامه دارد، استفاده می‌شود. با توجه به تعداد زیاد سلول‌های محاسباتی و فیزیک جریان رسیدن به همگرایی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مساله برای بررسی استقلال از شبکه، علاوه بر اینکه مقدار باقی‌مانده برای معادله پیوستگی، مومنتوم و انرژی نیز به دقت قابل قبولی رسیده است. کمیت متوسط دمای حجمی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. پس از بررسی استقلال از شبکه برای این مساله،

است. برای همه حالت‌ها هر یک از پارمترهای ورودی نظیر سطح مقطع دریچه ورودی و خروجی، سرعت ورودی، دمای گرمکن، موقعیت گرمکن در راستای طولی و عرضی و سطح گرمکن در شرایط یکسانی قرار دارد. در سیستم هیبریدی از روش جابجایی برای ثابت نگه‌داشتن دمای کل اتاق تا  $10^{\circ}\text{C}$  و نیز گردش هوای داخل استفاده می‌شود. رطوبت مورد نیاز برای آسایش حرارتی در همه اقلیم‌ها از طریق رطوبت زنی هوای ورودی از دریچه انجام شده است. از گرمکن تابشی برای تامین شرایط آسایش به صورت محلی برای انسان استفاده می‌شود. به کمک این گرمکن هم می‌توان دمای کل اتاق را به مقدار آسایش رساند و هم می‌توان به صورت محلی دمای محدوده‌های خاصی را تا شرایط آسایش بالا برد. در دما و سرعت‌های متفاوتی شرایط آسایش حرارتی تامین می‌شود. به طور کلی در قسمت بحث و نتیجه‌گیری به ترتیب به اعتبار-سنجی نتایج، بررسی اثرات سرعت و دمای ورودی، دما و سطح گرمکن تابشی در اقلیم‌های مختلف بر آسایش حرارتی و نیز مقدار اتلافات از دیواره‌ها و از شخص که به صورت تعریق یا تبخیر از سطح پوست انجام می‌شود پرداخته می‌شود. در پایان دما، سرعت هوای ورودی دریچه، دما و سطح گرمکن مورد نیاز برای آسایش حرارتی در هر یک از اقلیم‌ها به دست آمده است. تعدادی از کانتورهای دما، سرعت و رطوبت نسبی برای وضعیت بهینه در اقلیم‌های مختلف آورده شده است.

#### ۴-۱- اعتبار سنجی نتایج

برای بررسی صحت و دقت جواب‌ها، در حالتی که دمای گرمکن  $30^{\circ}\text{C}$  و سرعت و دمای ورودی از دریچه به ترتیب  $0.2\text{ m/s}$  و  $22^{\circ}\text{C}$  باشد نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج آزمایشگاهی و عددی مرجع [۶] مقایسه شده است. به این منظور سرعت جریان، رطوبت نسبی و دما برای نقاط مختلف درون اتاق و در فاصله‌های مختلف در بالای سر مانکن برای این تحقیق و مرجع [۶] با هم مقایسه شده است. شکل‌های ۴، ۵ و ۶ به ترتیب مقایسه بین سرعت، دما و رطوبت نسبی بدست آمده را با نتایج عددی و تجربی محققین ذکر شده نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل ۴ نشان می‌دهد نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج آزمایشگاهی هم‌خوانی بسیار خوبی دارد و نسبت به نتایج عددی مرجع [۶] نیز دقیق‌تر

در اطراف مدل برابر  $10\text{ grH}_2\text{O/kgAir}$  است نرخ متابولیسم با توجه به استاندارد اشری تعیین شده است [۱۴]. کسر جرمی بخار آب در ورودی متناسب با شرایط اقلیمی مختلف در نظر گرفته شده است. با توجه به تراکم ناپذیر بودن جریان برای ورودی شرط نوع ورودی سرعت می‌باشد. با توجه به استفاده از سیستم گرمایش جابجایی جهت انجام چرخش جریان، هوا با سرعت و دمای مشخص و رطوبت متناسب با اقلیم‌های مختلف از دریچه وارد اتاق می‌شود. در مناطقی که شرایط هوای بیرونی دارای سرعت، رطوبت و دمای  $10^{\circ}\text{C}$  باشد به صورت مستقیم وارد اتاق می‌گردد. برای انجام تهویه و خروج جریان یک دریچه در بالای درب تعبیه شده است. شرط مرزی در خروجی‌ها از نوع فشاری می‌باشد. در سیستم هیبریدی دمای گرمکن تابشی برای تامین شرایط آسایش از  $30^{\circ}\text{C}$  تا  $90^{\circ}\text{C}$  در اقلیم‌های مختلف تغییر داده شده و دمای بهینه برای تامین شرایط آسایش حرارتی به دست آمده است. جنس سقف و دیواره‌ها از آجر معمولی و لایه‌های مختلف سیمان و گچ بوده که مشخصات آن در جدول ۳ آورده شده است. دمای دیواره‌ها در خارج همان دمای محیط در اقلیم‌های مختلف می‌باشد شرط مرزی کف اتاق دما ثابت و برابر  $25^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. ضریب انتقال حرارت برای دیوار دارای پنجره  $25\text{ W/m.K}$  است. ضخامت سقف نیز  $0.25\text{ m}$  است. مقدار ضریب صدور برای شخص  $0.98$  در نظر گرفته شده است.

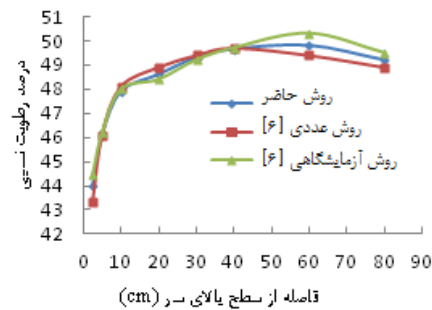
جدول ۳- مشخصات فیزیکی درب و دیوارها [۱۴]

درب	دیوار	پنجره	
			ضخامت (mm)
۵۰	۲۵۰	۲۰	
			چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )
۷۲۰/۸۳	۱۹۲۲	۲۵۰۰	
			گرماویژه ( $\text{J/Kg-K}$ )
۲۳۱۰	۸۴۰	۸۵۰	
			ضریب‌رسانش ( $\text{W/mK}$ )
۰/۱۷۳	۰/۲۵	۰/۲	
			ضریب صدور
۰/۹	۰/۹۵	۰/۸۲	

#### ۴-۲- بحث و نتیجه‌گیری

مساله برای حالت‌های مختلف که در آن سیستم هیبریدی مورد نظر برای اقلیم‌های مختلف استفاده شده، حل گردیده است. هندسه مساله در حالت‌های مختلف یکسان می‌باشد. این مساله برای سرعت‌ها و دماهای مختلف هوای ورودی از دریچه و نیز دماها و سطح‌های مختلف گرمکن حل شده

باشد. همچنین شکل هندسی مساله که در این تحقیق کاملا منطبق بر شکل انسان می‌باشد دلیل دوم درستی جواب‌ها می‌باشد. ضمن اینکه شبکه مورد استفاده برای شبکه‌بندی کاملا متناسب با هندسه مساله در نظر گرفته شده است. به طور کلی با توجه به نتایج مذکور می‌توان نتیجه گرفت که روش عددی مورد استفاده از دقت بسیار بالای برخوردار می‌باشد

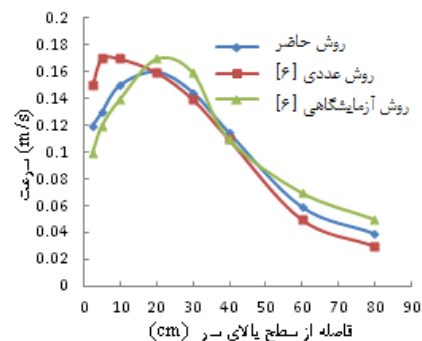


شکل ۶- مقایسه رطوبت نسبی به دست آمده با نتایج تجربی مرجع [۶]

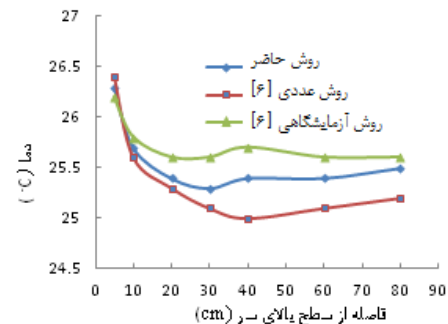
۴-۲- بررسی تغییرات سرعت و دمای ورودی بر شاخص پی ام وی و میزان اتلاف حرارت کلی از مانکن با توجه به تاثیر سرعت و دمای ورودی از دریچه بر آسایش حرارتی و اتلافات انرژی از سطح مانکن و دیواره در شکل‌های ۷ و ۸ تاثیر سرعت و دمای ورودی بر شار حرارتی کلی از سطح مانکن و بر شاخص آسایش حرارتی آورده شده است. در شکل ۷ مشاهده می‌شود که با افزایش دما میزان شار کلی از سطح بدن کاسته می‌شود. به عبارت دیگر اتلافات ناشی از تعریق یا تنفس و جابجایی کاهش می‌یابد ولی با افزایش سرعت بر مقدار اتلافات به دلیل افزایش سرعت افزوده می‌شود. در نتیجه افزایش سرعت علاوه بر افزایش اتلافات باعث کاهش آسایش نیز می‌شود.

چنان‌که در شکل ۸ نیز مشاهده می‌شود افزایش دما باعث می‌شود شاخص آسایش حرارتی از مقادیر منفی به سمت مقادیر مثبت برسد. ولی افزایش سرعت باعث انحراف بسیار زیاد از آسایش حرارتی می‌شود به طوری که در محدوده سرعت تا  $0.3 \text{ m/s}$  شاخص آسایش حرارتی در محدوده استاندارد قرار دارد ولی با افزایش بیشتر آن انحراف بیشتر

می‌باشد. مطابق شکل ۴ که در آن به مقایسه سرعت پرداخته شده است ماکزیمم اختلاف بین سرعت محاسبه شده با نتایج تجربی و عددی مرجع [۶] در نقاط مختلف از  $0.3 \text{ m/s}$  کمتر می‌باشد که این مقدار اختلاف برای مسایل تهویه مطبوع بسیار عالی می‌باشد. همچنین براساس مقایسه بین دما و رطوبت نسبی که در شکل‌های ۵ و ۶ آمده است ماکزیمم اختلاف بین دمای محاسبه شده و نتایج تجربی و عددی  $0.45^\circ\text{C}$  و  $0.35^\circ\text{C}$  و برای رطوبت نسبی نیز به ترتیب  $0.5$  و  $0.4$  درصد می‌باشد.



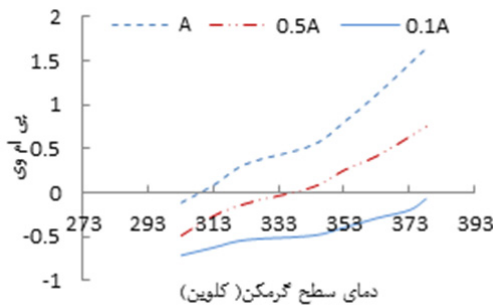
شکل ۴- مقایسه سرعت به دست آمده با نتایج عددی و تجربی مرجع [۶]



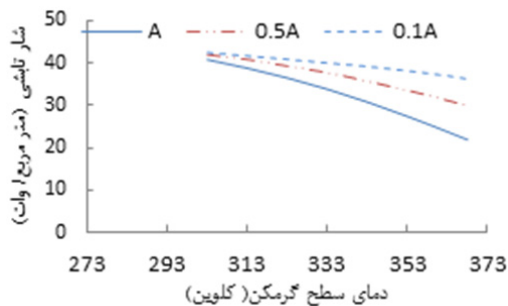
شکل ۵- مقایسه دمای به دست آمده با نتایج عددی و تجربی مرجع [۶]

در دمای آسایش حرارتی هم دمای تابشی و هم دمای جابجایی موثر می‌باشد و روش بررسی اثرات تابشی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر دمای آسایش دارد. دلیل دقت بسیار بالای نتایج عددی با روش‌های آزمایشگاهی استفاده از روش DO می‌باشد که برای دیواره‌های نیمه شفاف بسیار مناسب می‌-

یک دمای معین سطح گرمکن، افزایش سطح گرمکن باعث افزایش دمای میانگین تشعشعی شده و شار حرارتی و تشعشعی خروجی از سطح بدن کاهش می‌یابد. علاوه بر این اثر افزایش سطح گرمکن در میزان شار حرارت تشعشعی خروجی از بدن در دماهای بالاتر، بیشتر از اثر آن در دماهای پایین می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت که شار تشعشعی خروجی از سطح بدن روندی معکوس با تغییرات دمای میانگین تشعشعی دارد.



شکل ۹- تاثیر تغییر دما و سطح گرمکن تابشی بر آسایش حرارتی

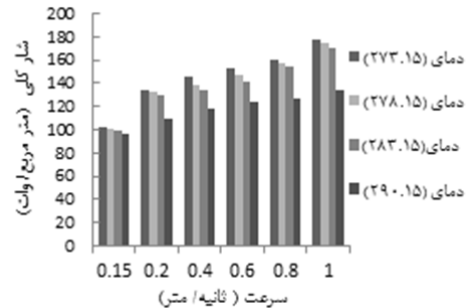


شکل ۱۰- تاثیر تغییر دما و سطح گرمکن تابشی بر شار تابشی مانکن

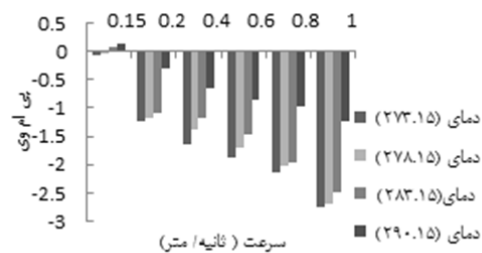
#### ۴-۴- بررسی تغییر اقلیم بر شاخص پی ام وی و میزان اتلاف حرارت از اتاق و مانکن

در این وضعیت مساله برای اقلیم‌های مختلف برای حالتی که دمای گرمکن تابشی  $50^{\circ}\text{C}$  و سرعت هوا در ورودی  $0.4\text{ m/s}$  باشد حل شده است مقدار کمی شاخص آسایش حرارتی، مقدار اتلافات، دمای میانگین حجمی و مقدار رطوبت نسبی در جدول ۴ آورده شده است.

می‌شود. هر چند افزایش سرعت در مناطق مرطوب باعث کاهش مقدار رطوبت و نیز آسایش حرارتی می‌شود.



شکل ۷- تاثیر تغییر سرعت و دمای هوای ورودی بر شار کلی



شکل ۸- تاثیر تغییر سرعت و دمای هوای ورودی بر آسایش

#### ۴-۳- بررسی تغییرات دما و سطح گرمکن تابشی بر شاخص پی ام وی و میزان اتلاف حرارت تابشی از مانکن

در شکل‌های ۹ و ۱۰ تاثیر افزایش دما و سطح گرمکن تابشی بر آسایش حرارتی و اتلافات تابشی از سطح مانکن آورده شده است. همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود سطح گرمکن تاثیر بیشتری نسبت به افزایش دمای گرمکن بر آسایش حرارتی دارد. با افزایش سطح گرمکن در دماهای پایین هم می‌توان به آسایش حرارتی رسید حتی می‌توان به حالت بی‌تفاوتی دمایی یا همان پی ام وی صفر، دست یافت.

مطابق شکل ۱۰ با افزایش دمای سطح گرمکن دمای میانگین تشعشعی بالاتر رفته و باعث کاهش اختلاف بین دمای سطح بدن و دمای میانگین تشعشعی می‌شود و در نتیجه شار حرارتی تشعشعی از سطح بدن کاهش می‌یابد. در



در شهر تبریز یا تهران که دما در زمستان به زیر صفر می‌رسد می‌توان به کمک سیستم هیبریدی ضمن کاهش اتلافات انرژی گرمایش مورد نیاز را تامین نمود. در این سیستم‌ها با استفاده از روش جابجایی ابتدا دمای کل فضا به مقدار قابل قبولی می‌رسد و سپس با استفاده از گرمایش تابشی به صورت محلی دما در اطراف شخص افزایش می‌یابد.

جدول ۵- تاثیر اقلیم بر آسایش حرارتی و اتلافات

نوع اقلیم	۱	۲	۳	۴	۵
دمای گرمکن (°C)	۳۰	۴۵	۸۰	۶۰	۳۰
سطح گرمکن	0.7A	0.8A	A	A	0.5A
سرعت ورودی (m/s)	۰/۳۵	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۴
رطوبت نسبی	۴۸/۶	۵۰/۱۲	۴۴/۳۵	۴۶/۲۷	۴۹/۶۷
دمای میانگین	۱۸۴	۱۳۵	۲۹۶/۳۵	۱۹۷	۱۱۶
حجمی (k)	۲۹۸	۲۹۷	۲۹۶	۲۹۶	۲۹۸
کل اتلافات (W/m2)	۱۰۸	۹۹/۴۰	۱۰۱	۱۷۸	۹۵/۷۸
پی ام وی	۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۶۷

#### ۴-۶- توزیع دما، سرعت و رطوبت نسبی برای وضعیت

##### بهینه اقلیم ۴

توزیع پارامترهای سرعت و دما و رطوبت نسبی برای مانکن در سیستم هیبریدی برای اقلیم ۴ در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ آورده شده است.

مطابق شکل ۱۱ سرعت در اطراف مانکن بیشتر از نقاط دیگر می‌باشد. ماکزیمم سرعت در فضای بالای سر مانکن می‌باشد. در این ناحیه دمای میانگین حجمی بالاست و در نتیجه اختلاف دمایی بین مانکن و محیط کوچک بوده و سرعت در آن ناحیه بیشتر می‌باشد. در اطراف مانکن ناحیه سکون وجود ندارد و ماکزیمم مقدار سرعت نیز در محدوده آسایش بر اساس استاندارد اشری می‌باشد.

همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود توزیع دما در اطراف مانکن کاملاً همگن می‌باشد. بیشترین دما در اطراف سر مانکن بوده و برابر با  $26/11^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. اختلاف دمای نواحی بالا و پایین برابر  $1/73^{\circ}\text{C}$  است. به دلیل همگن بودن توزیع دما در اطراف شخص، آسایش حرارتی به صورت محلی نیز تامین می‌شود. تامین آسایش حرارتی محلی باعث می-

جدول ۴- تاثیر اقلیم بر آسایش حرارتی و اتلافات

نوع اقلیم	مقدار پی ام وی	اتلاف جابجایی	اتلاف تابشی	رطوبت نسبی	دمای متوسط حجمی
۱	۰/۱۲۹	۳۵/۳۶	۵۳/۶۹	۵۰/۴۷	۲۹۷/۸۵
۲	۰/۳۴	۳۳/۵۳	۵۲/۸۰	۴۹/۲۵۵	۲۹۸/۶۳
۳	-۱/۰۷	۴۶/۸۹	۶۸/۷۸	۵۹/۵۳	۲۹۵/۱۱
۴	-۰/۸۶	۴۳/۶۵	۶۲/۴۹	۵۴/۲۸	۲۹۶/۰۳
۵	۰/۷۲	۲۷/۰۳	۴۵/۰۳۳	۴۶/۷۹	۲۹۹/۸۶

مطابق جدول ۴ می‌توان گفت که در صورت استفاده از یک سیستم هیبریدی ثابت در اقلیم‌های مختلف مقدار اتلاف ناشی از تعریق، تنفس، جابجایی و تابشی از سطح مانکن بسیار متفاوت می‌باشد. این اتلافات باعث می‌شود سطح آسایش حرارتی در اقلیم‌های متفاوت یکسان نباشد. پس از بررسی میزان اتلافات در این سیستم می‌توان با افزایش سرعت یا افزایش سطح گرمکن تابشی مقدار هر یک از اتلافات را کاهش داد و به مقدار استاندارد آن رسید.

در ادامه با تغییر بر روی این دو کمیت، شرایط آسایش حرارتی مطلوب حاصل شده است. ماکزیمم سطح گرمکن حرارتی با توجه به محدودیت‌های هندسی  $3/117$  متر مربع می‌باشد. مقدار سرعت، دما و سطح گرمکن تابشی که باعث ایجاد شرایط آسایش حرارتی در اقلیم‌های مختلف می‌شود متفاوت می‌باشد. در جدول ۵ این مقادیر همرا با مقدار کمی آسایش حرارتی، رطوبت نسبی، دمای میانگین حجمی و مقدار اتلافات کلی از سطح مانکن آورده شده است.

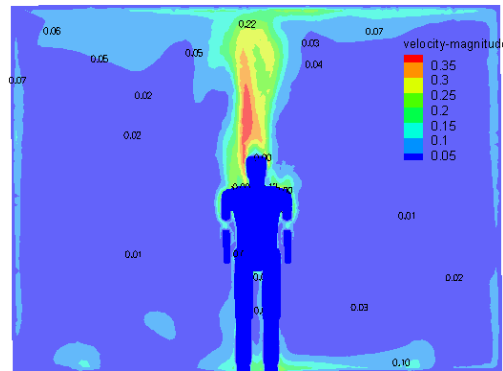
#### ۴-۵- مقدار بهینه سرعت، دمای و سطح گرمکن تابشی

##### جهت تامین آسایش حرارتی در اقلیم‌های مختلف

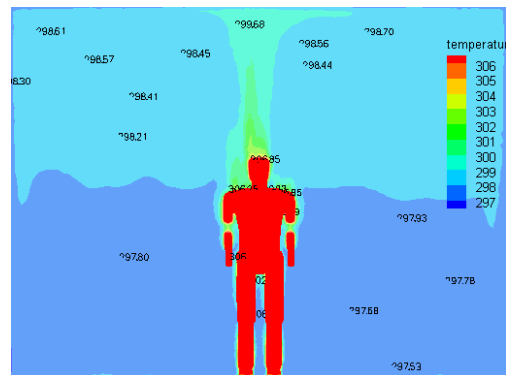
در این حالت برای وضعیتی که پی ام وی در محدوده آسایش حرارتی قرار گیرد مساله حل شده است. مقدار دمای گرمکن، سرعت و دمای ورودی مورد نیاز برای تامین شرایط آسایش حرارتی در جدول ۵ آورده شده است.

چنان‌که در جدول ۵ مشاهده می‌شود برای رسیدن به آسایش حرارتی در اقلیم‌های مختلف می‌توان با تغییر در برخی پارامترهای ورودی به آسایش حرارتی رسید علاوه بر این ضمن استفاده از سیستم هیبریدی به کمک گرمکن تابشی می‌توان با تغییر موقعیت آن به آسایش حرارتی رسید.

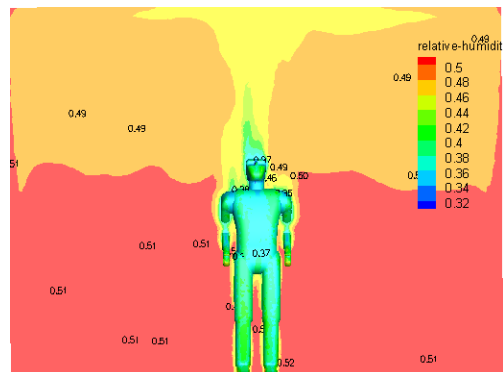
شود که اتلافات حرارتی از سطح مانکن نیز به کمترین مقدار خود برسد. یعنی میزان اتلاف ناشی از تعریق، تنفس، جابجایی و تابشی می‌نیمم می‌شود.



شکل ۱۱- توزیع سرعت برای سیستم هیبریدی اقلیم ۴



شکل ۱۲- توزیع دما برای سیستم هیبریدی اقلیم ۴



شکل ۱۳- توزیع رطوبت نسبی برای سیستم هیبریدی اقلیم ۴

بر اساس کانتور توزیع رطوبت نسبی مطابق شکل ۱۳ مقدار رطوبت در نواحی اطراف گرمکن به دلیل بالابودن دما، نسبت به سایر نواحی بسیار کم می‌باشد. مقدار رطوبت نسبی اطراف شخص معادل ۴۶٪ تا ۵۰٪ می‌باشد.

در ادامه برای اقلیم ۳ اتلافات جابجایی و تابشی از اجزای مانکن که نسبت به سایر اتلافات دارای مقدار کمی بیشتری می‌باشد آورده شده است.

#### ۴-۷- مقایسه بین اتلاف حرارت اجزای مختلف مانکن در سیستم هیبریدی و سایر سیستم‌های متداول در اقلیم ۳

در جدول ۶ مقایسه بین شار جابجایی و شار تابشی اجزای بدن، برای وضعیتی که از سیستم هیبریدی استفاده شود و نیز زمانی که به روش جابجایی کل انتقال حرارت تامین می‌گردد، آورده شده است. غیر از نحوه تامین انتقال حرارت بقیه پارامترها در دو وضعیت یکسان بوده است.

جدول ۶- مشخصات انتقال حرارت برای دو سیستم

نام سطح	سیستم جابجایی		سیستم هیبریدی	
	شار جابجایی	شار تابشی	شار جابجایی	شار تابشی
	$w/m^2$	$w/m^2$	$w/m^2$	$w/m^2$
سر	۳۴/۱۴	۳۸/۶۱	۳۹/۶۵	۴۱/۵۳
سینه	۳۵/۸۲	۳۷/۴۴	۳۴/۴۳	۴۵/۳۵۶
شکم	۳۳/۳۳	۳۵/۹۰	۳۱/۹۲	۴۶/۰۳
لگن	۳۱/۷۳	۳۲/۲۷	۳۰/۶۸	۳۹/۹۵
کمر	۳۳/۳۲	۳۱/۷۶	۳۲/۵۷	۳۸/۳۲
باسن	۳۳/۸۴	۳۳/۷۹	۳۱/۹۱	۴۰/۲۳
بازو	۳۷/۱	۳۲/۴۷	۳۶/۵۴	۴۱/۳۹
ساعد	۳۸/۳۵	۳۰/۶۶	۳۷/۶۱	۳۹/۳۶۹
کتف	۳۵/۲۷	۳۸/۷۱	۳۴/۲۹	۵۴/۲۸
مچ	۴۱/۶۹	۲۹/۲۴	۴۰/۱۵	۳۸/۶۹
ران	۳۴/۴۴	۳۱/۶۹	۳۳/۲۳	۴۸/۳۷
ساق	۴۱/۳۴	۳۶/۱۰	۴۰/۶۹	۴۳/۸۴
پا	۴۶/۸۱	۳۴/۶۹	۴۵/۳۱	۴۲/۶۴
گردن	۳۳/۳۶	۳۵/۲۳	۳۸/۶۲	۴۵/۷۸
پهلوی	۲۲/۰۱	۲۰/۹۷	۱۹/۸۶	۴۴/۱۸
میانگین	۳۷/۱	۳۳/۷	۳۵/۶۸	۴۴/۳۵

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در حالت دوم که از سیستم هیبریدی استفاده شده است با بالا رفتن شار تابش،

یا عدم آسایش حرارتی می‌شود به کمترین مقدار خود می‌رسد.

بر اساس جدول ۷ علاوه بر تامین شرایط آسایش حرارتی، تلفات حرارتی که از دیواره‌ها در وضعیت هیبریدی انجام می‌شود بسیار کمتر از تلفات حرارتی در سایر سیستم‌ها می‌باشد. با تبدیل شرایط گرمایشی از صرفا جابجایی به هیبریدی مقدار تلفات تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. علاوه بر آن شار حرارتی خروجی از سطح مدل نیز بسیار کمتر خواهد شد.

#### ۵- نتیجه گیری و جمع بندی

با به‌کارگیری سیستم هیبریدی برای گرمایش ساختمان مسکونی در اقلیم‌های مختلف ضمن کاهش میزان اتلافات، شرایط آسایش حرارتی نیز در زمان کمتری تامین می‌شود. اتلافات حرارتی از سطح بدن به صورت‌های مختلف جابجایی، تابشی، تعریق، تنفس انجام می‌شود که برای یک سیستم هیبریدی در اقلیم‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. دمای متوسط تابشی، و دمای خشک مورد نیاز برای تامین شرایط آسایش حرارتی وابسته به اقلیمی است که سیستم هیبریدی مورد استفاده قرار گرفته است. با تغییر در پارامترهای مختلف مانند دما و سرعت در ورودی و نیز دما و سطح گرمکن تابشی می‌توان به آسایش حرارتی رسید. مقدار سرعت بهینه در ورودی برای اقلیم‌های پنج‌گانه در این تحقیق محاسبه شده است که مقدار آن بسیار کمتر از مقدار به‌کارگرفته شده در سایر سیستم‌های متداول گرمایشی می‌باشد. مقدار دما و سطح مورد نیاز برای تامین آسایش حرارتی در اقلیم‌های مختلف برای فضای استاندارد مورد استفاده محاسبه و بیان گردیده است. سیستم هیبریدی برای همه اقلیم‌ها قابل استفاده می‌باشد. در این سیستم‌ها آسایش به صورت محلی تامین می‌گردد. با تغییر در مقدار سطح گرمکن تابشی در سیستم‌های هیبریدی، مقدار پی ام وی را تا حد آسایش کامل حرارتی رساند. استفاده از سیستم‌های هیبریدی اتلافات حرارتی را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد.

#### ۶- فهرست علائم

ضریب پخش جرمی ذرات  
ضریب پخش اغتشاشی

$$D_{j,m}$$

$$D_{T,j}$$

معیار آسایش حرارتی به مقدار مطلوب نزدیک‌تر شده و شرایط آسایش تامین می‌گردد. با توجه به اینکه قسمت‌هایی از بدن در تماس مستقیم با گرمکن‌های تابشی قرار دارد انتقال حرارت سریع‌تر صورت می‌گیرد و مقدار گرمای تابشی نیز افزایش می‌یابد. این امر باعث بهینه شدن شاخص پی ام وی می‌گردد. به‌طوری‌که در وضعیت اول شاخص برابر با ۰/۸۹- بوده است و در وضعیت دوم این شاخص به ۰/۲۱- رسیده است.

#### ۴-۸- بررسی میزان اتلافات مختلف جابجایی، تابشی،

#### تعریق، تبخیر از مانکن در اقلیم ۳ و ۱

در حالتی که چهار پارامتر دمای ورودی، سرعت ورودی، دما و مساحت گرمکن برای دو اقلیم ۳ و ۱ یکسان باشد مقدار اتلافاتی که به روش‌های مختلف انجام می‌شود متفاوت می‌باشد. این مقدار اتلافات در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- نرخ اتلاف حرارت از بدن و اتاق و مقادیر PMV

حالت	اقلیم ۳	اقلیم ۵
دمای متوسط	۲۴/۵	۲۶/۱۲
رطوبت نسبی	۵۰/۴۶	۴۸/۶
شار جابجایی	۲۹/۴	۳۸/۶۸
شار تابشی	۳۵/۶۷	۴۹/۸۱
اتلافات(تعریق، تنفس)	۳۵/۲۷	۱۹/۲۴
کل شار سطح بدن	۱۰۵/۱۵۶	۹۸/۹۴۵
شاخص پی ام وی	-۰/۸۹	۰/۲۱
کل اتلاف حرارت از اتاق	۶۸۴/۶۱	۴۶۸/۱۸
شار حرارتی گرمکن	۳۵۴/۶۸	۲۶۱/۳۹

بر اساس نتایج موجود در جدول ۷ برای سیستم هیبریدی مورد استفاده، میزان اتلافات در اقلیم ۳ بسیار بیشتر می‌باشد. مقدار رطوبت نسبی به راحتی با افزایش محدود سرعت در ورودی قابل تنظیم می‌باشد. به طور کلی در این سیستم‌ها نرخ انتقال حرارت جابجایی ۳۴ درصد، نرخ انتقال حرارت تابشی حدود ۴۱ درصد کل، انتقال حرارت تبخیری به واسطه تعریق، تنفس و تبخیر معادل ۲۴ درصد کل انتقال حرارت از بدن می‌باشد

چنان که مشاهده می‌شود، در سیستم‌های هیبریدی توزیع سرعت و دما در اطراف شخص کاملا متقارن می‌باشد. محدوده سکون که سرعت آن صفر می‌باشد و باعث ناراضیتی

## مراجع

- [1]. Norman CH (1983) Modern air conditioning practice, 3rd edn., ISBN-964-8142-31-9.
- [2]. Lin Z, Deng S (2008) A study on the thermal comfort in sleeping environment in the subtropics-developing a thermal comfort model for sleeping environments. Building and environment 43:70–80.
- [3]. Wyon DP, Fanger PO, Olesen BW Pedersen CJK, (1997) The mental performance of subjects clothed for comfort at two different air temperatures. Ergonomics 18(5): 358–374.
- [4]. Alison GK, Nicholas B, Rajkovich (2010) Addressing climate change in comfort standards , Building and environment 45: 18–22.
- [5]. Fanger PO (1970) Thermal comfort: analysis and application in environmental engineering. [PHD thesis], Copenhagen, Danish, Technical press.
- [6]. Kilic M, Sevilgen G (2011) Numerical analysis of air flow, heat transfer, moisture transport and thermal comfort in a room heated by two-panel radiators. Energy And Buildings 43(1):137–146.
- [7]. Orosa JA (2009) Research on general thermal comfort models, European Journal of Scientific Research 34(4): 561–567.
- [8]. Hutter E (1991) Comparison of different heat emitters in respect of thermal comfort and energy consumption Proceeding of the international center for heat and mass transfer. Heat and mass Transfer in Building Material and structures :753–769.
- [9]. Murakami S, Kato S, Zeng J (1997) Flow and temperature around human body with various room air distribution CFD study on computational thermal manikin (Part1). ASHRAE Transactions 1: 3–15
- [10]. Jeet S, Chapman KS, Keshavarz A, Window (2005) Performance for Human Thermal Comfort, ASHRAE Transaction, 111(1): 254-263
- [11]. White FM (1991) Viscous Fluid Flow, 2rd Edn. McGrawHill, New York.
- [12]. Murakami S, Kato S, Nakagawa H (1991) Numerical prediction of horizontal non-isothermal 3-D jet in room base on  $k - \epsilon$  model. ASHRAE Transactions 97(1): 38–48
- [13]. IMO, Iran Metrological Organization web site: <http://www.irimo.ir>
- [14]. ASHRAE Hand Book-Fundamental, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (2001) Atlanta.

نرخ تبادل حرارت تبخیری در تنفس،	$E_{res}$
$(W/m^2)$	
انرژی کل،	$E$
$(W/m^2)$	
گرمای تبخیری از سطح پوست،	$E_{sk}$
$(W/m^2)$	
نیروهای خارجی،	$\vec{F}$
(N)	
شتاب جاذبه،	$\vec{g}$
$(N/m^2)$	
انتالپی محسوس،	$h$
$(W/m^2)$	
بردار تانسور واحد	$I$
پخش حرارتی ذرات	$\vec{J}_j$
ضریب هدایتی موثر	$k_{eff}$
ضریب هدایت حرارتی اغتشاشی	$k_t$
کل بار حرارتی بدن،	$L$
$(W/m^2)$	
نرخ متابولیسم،	$M$
$(W/m^2)$	
فشار بخار در سطح پوست،	$P$
(Pa)	
فشار جزئی بخار در محیط،	$P_a$
(Pa)	
متوسط آرای پیش بینی	$PMV$
اتلاف حرارت هدایت،	$q_c$
$(W/m^2)$	
نرخ تبادل حرارت جابجایی تبخیری،	$q_{res}$
$(W/m^2)$	
مقاومت کل لایه‌های پوشش	$R_{cl}$
عدد اسمیت	$Sc_t$
منبع حرارتی حجمی،	$S_h$
$(W/m^2)$	
دمای محیط،	$T$
(K)	
بردار سرعت	$\vec{V}$
رطوبت نسبی پوست	$w$
کار خارجی،	$W$
$(W/m^2)$	
کسر جرمی ذرات	$Y_j$
ویسکوزیته،	$\mu$
$(N.s/m^2)$	
چگالی،	$\rho$
$(Kg/m^3)$	
تانسور تنش	$\tau$
تانسور موثر	$\tau_{eff}$
لزجت،	$\mu$
$(N.s/m^2)$	
لزجت اغتشاشی،	$\mu_t$
$(N.s/m^2)$	