

## کاهش مصرف انرژی الکتریکی:

### استفاده از جریان طبیعی باد برای سرمایه‌گذاری مدارس

کبری ستوده مرام\*، علی اکبر گلنشان\*\*، خسرو جعفرپور\*\*

شرکت مدیریت تولید برق آذربایجانغربی\*، بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز\*\*  
کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی\*، عضو هیئت علمی بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز\*\*  
ایران

واژه های کلیدی: انرژی الکتریکی، سرمایه‌گذاری، انرژی تجدیدپذیر، باد، مدارس، بادگیر

#### چکیده:

افزایش روز افزون جمعیت و تغییر الگوی مصرف در جوامع امروزی از یک سو و حجم عظیم سرمایه گذاری لازم جهت احداث نیروگاهها از سوی دیگر، استفاده بهینه از منابع انرژی، بهره وری مطلوب و کاهش مصرف انرژی الکتریکی رادر جوامع مختلف مورد توجه قرار داده است.

در مقاله حاضر امکان استفاده از انرژی تجدیدپذیری همچون باد برای ایجاد سرمایه‌گذاری در مدارس (با استفاده از بادگیر) به عنوان یکی از راههای کاهش مصرف انرژی الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی میزان تاثیر بادگیر در کاهش دمای هوای کلاسها، ابتدا با شبیه سازی انتقال حرارت توسط انتقال جرم رابطه ای برای محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجائی هوا در داخل کلاسها بدست آمده است. سپس

با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری دمای هوای کلاسها در طی شبانه روز محاسبه شده و تاثیر تعداد دانش آموزان، کیفیت و کمیت تهویه در چگونگی تغییر دمای هوای کلاسها بررسی شده است.

#### ۱- مقدمه:

امروزه به علت رشد روزافزون مصرف انرژی در جهان و با توجه به کمبود منابع سوختهای فسیلی و آلودگیهای شدید زیست محیطی ناشی از احتراق آنها ضرورت استفاده منطقی، بهره وری مطلوب و بهینه از منابع انرژی افزایش یافته است. در میان بخشهای مختلف مصرف کننده انرژی (خدمات خانگی و تجاری)، صنعت و کشاورزی، بخش خدمات ۳۰٪ از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. ساختار اجتماعی، اقتصادی و سیاسی کشور ما به

تک اتاقه و چهار اتاقه مورد بررسی قرار داد [۲].  
در سال ۱۹۹۱ یعقوبی، سبزواری و گلنشان کارآئی سه ساختمان قدیمی دولت آباد یزد، ساختمان لاری یزد و مسجد کرمان که در همه آنها از بادگیر برای سرمایش استفاده شده است، را مورد بررسی قرار دادند [۳]. در سال ۱۹۹۳ قاضی القطیبی و همکارانش آزمایشاتی را برای تحقیق میزان تاثیر سرمایش تبخیری بوسیله بادگیر در کاهش دمای هوای اتاقها انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که سیستم سرمایش تبخیری دمای مرطوب داخل اتاقها را در شرائطی که رطوبت نسبی پائین (۳۰-۱۰٪) باشد، ۸ تا ۱۶ درجه سانتیگراد و در شرائطی که رطوبت نسبی بالاتر (۷۰-۶۵٪) باشد، ۴ تا ۵ درجه سانتیگراد پائین می‌آورد [۴].

اثر تهویه شبانه در ساختمانهای مناطق گرم و خشک ایران که دارای نوسانات دمائی بالائی در طول روز می‌باشند، توسط گلنشان و یعقوبی در سال ۱۹۹۰ بررسی شده است [۵]. تحقیقات آنها نشان می‌دهد که آسایش حرارتی در این مناطق در طول روزهای گرم تابستان با انجام تهویه شبانه و انتخاب صحیح اندازه و موقعیت پنجره‌ها حاصل می‌شود.

در سال ۱۳۷۶ پاکزاد طرحهای جدیدی از بادگیرها (بادگیر با سطوح خیس شونده - بادگیر با ستون خیس شونده) را برای تهویه طبیعی هوای داخل ساختمان مورد بررسی قرار داد و در این زمینه نرم افزاری تهیه کرد که معادلات پیوستگی، انرژی و ممتنم را با بکارگیری اصول انتقال حرارت و مکانیک سیالات و ترمودینامیک حل کرده و دما و سرعت و دبی هوای خروجی از این بادگیرها را محاسبه می‌کند [۶].

در بررسی‌هایی که تا کنون انجام گرفته رابطه بکار برده شده برای ضریب انتقال حرارت جابجائی هوا در داخل ساختمان، رابطه ای تقریبی بوده که برای صفحه صاف صادق است و رابطه ای برای محاسبه  $h$  در داخل ساختمان بدست نیامده است.

گونه‌ای است که ارائه خدمات عمدتاً در بخش دولتی انجام می‌گیرد و بخش دولتی ۱۱٫۸۵٪ از کل مصرف بخش خدمات را به خود اختصاص می‌دهد که رقم نسبتاً بالائی است و از این مقدار حدود ۴۰٪ آن صرف گرمایش و سرمایش ساختمانها می‌شود. با توجه به بررسی‌های انجام شده، در میان واحدهای ساختمانی مدارس نقش بسزائی در مصرف انرژی کشور دارند [۱۰].

یکی از راههای بهره‌وری مطلوب و بهینه از منابع انرژی و کاهش مصرف انرژی الکتریکی و به تبع آن کاهش مصرف سوختهای فسیلی که در اکثر کشورها بدان توجه خاصی شده است، ساخت واحدهای ساختمانی به نحوی است که کمترین انرژی برای گرمایش و سرمایش آنها مصرف گردد. در مقاله حاضر امکان استفاده از انرژی تجدید پذیری همچون باد در ایجاد سرمایش در مدارس (با استفاده از بادگیر) مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از بادگیر برای سرمایش طبیعی ساختمان در گذشته‌های دور و در معماری سنتی ایران و کشورهای همسایه معمول بوده است. بادگیر یک ترکیب معماری مهم در ساختمانها برای ایجاد تهویه طبیعی است که امر توزیع هوا را در داخل ساختمان بدون استفاده از انرژی الکتریکی سهولت می‌بخشد. در اثر وزش باد، هوا از طریق دهانه‌های بادگیر وارد ستون بادگیر شده و پس از تبادل حرارت با دیواره‌های بادگیر وارد ساختمان می‌شود.

اولین تلاش برای بررسی کار بادگیرها بطریقه علمی در سال ۱۹۷۶ توسط بهادری نژاد انجام شد [۱]. او انواع بادگیر هائی را که در مناطق کویری ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند، به طور نظری شرح داده است.

در ادامه کارهای تحقیقاتی انجام گرفته در مورد بادگیر، گلنشان در سال ۱۹۸۴ نقش بادگیر را در سرمایش نواحی گرم و خشک ایران برای یک ساختمان

## ۲- مدل پیشنهادی:

همانطور که اشاره شد، در مقاله حاضر نقش استفاده از جریان طبیعی باد برای سرمایش ساختمانهای آموزشی بررسی می‌شود و برای ایجاد چرخش بهتر هوا در داخل ساختمان استفاده از بادگیر پیشنهاد گردیده است. مدل مدرسه پیشنهادی از واحدهای ۸ کلاسه تشکیل شده که با توجه به نوع اقلیم به صورت فشرده و مربعی و یا بصورت گسترده و مستطیلی در کنار هم قرار می‌گیرند. هر واحد ۸ کلاسه دارای ۴ کلاس در طبقه اول و ۴ کلاس در طبقه دوم می‌باشد و باد از طریق راهرو هر طبقه که متصل به بادگیر می‌باشد وارد کلاسها می‌شود. در ساختمان مذکور ابعاد هر کلاس ۹×۵٫۷۰×۳٫۵ می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار تقریبی سطح پنجره‌ها در فضای آموزشی باید حدود ۰٫۳۳ تا ۰٫۲ سطح کف باشد [۷] سطح پنجره های شمالی (جنوبی) حدود ۰٫۲۵ سطح دیوارهای شمالی (جنوبی) و سطح پنجره های غربی (شرقی) حدود ۰٫۱ سطح دیوار غربی (شرقی) انتخاب شده است.

## ۳- کار تجربی:

برای بررسی میزان تاثیر جریان طبیعی باد در داخل ساختمان (از طریق بادگیر) در ایجاد سرمایش در مدارس ابتدا لازم است، رابطه ای برای محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجائی هوا در داخل کلاسها بدست آید.

ضریب انتقال حرارت جابجائی هوا اغلب بوسیله آزمایشهای پرهزینه که مستلزم استفاده از تجهیزات پیچیده میباشد، تعیین می‌شود. یک روش دیگر برای بدست آوردن ضریب انتقال حرارت جابجائی هوا انجام آزمایشهای انتقال جرم میباشد. علاوه آسانتر بودن انجام این آزمایشات، نتایج حاصله نیز از دقت لازم برخوردار می‌باشند. لذا در تحقیق حاضر، برای بدست آوردن

ضریب انتقال حرارت جابجائی هوا در داخل کلاسها از شبیه سازی انتقال حرارت بکمک انتقال جرم استفاده شده است. نتایج حاصل از انتقال جرم را می‌توان بخوبی به انتقال حرارت تعمیم داد و این به علت تشابه معادلات حاکم بر انتقال حرارت و انتقال جرم می‌باشد [۸].

$$u^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \frac{1}{\text{RePr}} \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}} \quad (1)$$

$$u^* \frac{\partial C_A^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial C_A^*}{\partial y^*} = \frac{1}{\text{ReSc}} \frac{\partial^2 C_A^*}{\partial y^{*2}} \quad (2)$$

یکی از روشهای بسیار مناسب برای بررسی میزان انتقال جرم، استفاده از تکنیک تصعید نفتالین می‌باشد که روش قابل اطمینانی برای کاربردهای مختلف است [۹].

اولین قدم برای انجام آزمایشهای فوق الذکر ساخت مدل آزمایشگاهی از مدرسه پیشنهادی است. با توجه به ابعاد تونل باد و ماکزیمم سرعت هوای تولیدی توسط آن مقیاس مناسب ۱:۳۵ برای مدل انتخاب شده است. مدل ساخته شده از جنس (Plexsi-glass) بوده و به علت تقارن مدل واقعی ساختمان، نصف آن ساخته شده است (شکل ۱) همانطور که ملاحظه می‌شود، مدل دارای ۴ کلاس می‌باشد که کلاسهای ۳ و ۱ نزدیک به دریچه بادگیر و به ترتیب در طبقات اول و دوم و کلاسهای ۲ و ۴ نیز در طبقات اول و دوم می‌باشند [۱۰].

حال برای بدست آوردن رابطه ای برای ضریب انتقال حرارت جابه جائی هوا در داخل کلاسها با استفاده از تکنیک تصعید نفتالین، سطح داخلی دیوارهای کلاس با استفاده از روش دپینگ (Dipping) از نفتالین پوشانده می‌شود. بعد از اینکه سطح داخلی دیوارهای کلاس مورد نظر برای آزمایش با نفتالین پوشانده شد، آن را با ترازویی با دقت ۰٫۱ گرم وزن کرده و به جای کلاسی که می‌خواهیم آزمایش را

#### ۴- تعمیم نتایج حاصل از آزمایشات انتقال

##### جرم به انتقال حرارت:

با توجه به مقدار بدست آمده برای میزان تصعید نفتالین از دیوارهای کلاس می توان ضریب انتقال جرم را از رابطه زیر بدست آورد:

$$h_m = \frac{\Delta m}{\Delta t \rho_{v,n} A} \quad (3)$$

در رابطه فوق  $\rho_{v,n}$  چگالی نفتالین می باشد و با فرض اینکه بخار نفتالین همانند گاز ایده ال عمل می کند می توان مقدار آن را با توجه به خصوصیات نفتالین در دمای  $25^\circ \text{C}$  از رابطه زیر بدست آورد [۹ و ۱۰]:

$$\rho_{v,n} = \frac{P_{v,n} M}{RT} \quad (4)$$

به این ترتیب می توان عدد شرود (Sh) را از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$Sh = \frac{h_m L}{D} \quad (5)$$

D ضریب نفوذ نفتالین و L طول مشخصه می باشد که نسبت حجم کلاس به سطح دیوارهای آن در نظر گرفته شده و مقدار آن برای مدل ساخته شده معلوم می باشد. در نهایت رابطه زیر برای Sh بدست آمده است [۱۰]:

$$Sh = 0.005 Re^{0.89} Sc^{0.33} \quad (6)$$

با توجه به مقدار بدست آمده برای Sh می توان مقدار Nu و از آنجا میزان ضریب انتقال حرارت جابجائی هوا را در داخل کلاسها بدست آورد.

#### ۵- شبیه سازی کامپیوتری:

پس از تعیین رابطه ای برای محاسبه ضریب انتقال حرارات جابجائی هوا در داخل ساختمان، با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری دمای هوای کلاسها را در طول شبانه روز محاسبه می کنیم و تاثیر تعداد دانش آموزان و

برای آن انجام دهیم، قرار می دهیم و با خمیر بنتونیت محل های اتصال را می پوشانیم تا از نفوذ هوا از میان درزها جلوگیری کنیم.

بعد از آماده کردن مدل آن را به مدت زمان ۳۰ دقیقه جلوی تونل باد قرار می دهیم تا تصعید نفتالین از کلاس مورد نظر صورت گیرد. علت قرار دادن مدل جلوی تونل باد اینست که ابعاد مدل نسبت به مقطع تونل باد نسبتاً بزرگ بوده و قرار دادن مدل در داخل تونل باد باعث ایجاد اثرات Blockage و ایجاد خطا در نتایج آزمایش می شود و کوچک کردن ابعاد مدل نیز با توجه به محدودیت سرعت امکان پذیر نبود. بعد از طی مدت زمان مذکور، مدل را از جلوی تونل باد برداشته، کلاسی را که دیوارهای آن با نفتالین پوشانده شده بود، را از داخل مدل خارج کرده و وزن می کنیم. اختلاف وزن حاصل بیانگر میزان تصعید نفتالین در طی انجام آزمایش می باشد.

تونل باد مورد استفاده مدار باز (Open-loop) بوده که ماکزیمم سرعت هوای تولیدی توسط آن  $100 \text{ ft/s}$  (۰/۱ ماخ) می باشد. مقطع تونل باد مذکور در قسمت مربوط به تست مدل، مربع شکل  $40 \times 40$  سانتی متر است.

برای بدست آوردن تعداد تعویض هوا در ساعت لازم است میزان سرعت هوای ورودی به داخل هر یک از کلاسها معلوم باشد. بدین منظور از لوله پیتوت برای اندازه گیری میزان سرعت هوای ورودی به داخل کلاسها استفاده شده است. لوله پیتوت مورد استفاده دارای قطر  $4 \text{ mm}$  بوده و اندازه گیری سرعت باد خروجی از هر کلاس با این وسیله خطای زیادی ایجاد می کند. برای رفع این مشکل، آزمایشات تصعید نفتالین برای هر کلاس بطور جداگانه انجام شده است. یعنی هنگام آزمایش هر کلاس برای اندازه گیری میزان تصعید، باد را فقط وارد همان کلاس می کردیم [۱۰].

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_a + \sum_{j=1}^6 A_{w,j} h_1 (T_{0,j} - T_R) \quad (10)$$

در رابطه فوق  $\dot{Q}_a$  حرارت جذب شده توسط هوای داخل کلاس می باشد:

$$\dot{Q}_a = \sum_{i=1}^k \tau_r I_{b,i} A_{g,i} - \sum_{j=1}^6 \dot{Q}_{w,j} \quad (11)$$

$I_{b,i}$  میزان تشعشع خورشیدی است که به سطوح مختلف عمودی برخورد می کند [۱۱].

میزان حرارت جذب شده توسط دیوارها، سقف و کف کلاس می باشد. مولفه تابش مستقیم که از میان پنجره‌ها عبور می کند، مقداری از آن جذب دیوارها و کف کلاس شده و بقیه منعکس می شود. از این مقدار تشعشع منعکسه، قسمتی جذب دیوارهای دیگر داخل کلاس و سقف شده و بقیه جذب هوای داخل کلاس می شود. از مولفه تابش پخشی نیز مقداری جذب دیوارها، سقف و کف شده و مقداری نیز جذب هوای داخل کلاسها می‌گردد.

بنابراین  $\dot{Q}_{w,j}$  از رابطه زیر محاسبه می گردد [۱۰]:

$$\dot{Q}_{w,j} = \sum_{i=1}^k \alpha_w F_{r,i} (1 - \alpha_f) \tau_r I_{b,i} A_{g,i} + \sum_{i=1}^k \alpha_w F_{r,i} (I_{d|sky} \tau_{r|sky} + I_{d|ground} \tau_{r|ground}) A_{g,i} \quad (12)$$

$j = 1, 6$

تشفشع خورشیدی که به سطح پنجره های کلاس برخورد می کند، دارای مولفه های تابشی و پخشی (که خود شامل تابش پخشی از آسمان و تابش پخشی منعکسه از زمین است)، می باشد. با توجه به روابط زیر می توان میزان تابش پخشی دریافتی از سطح زمین و آسمان را محاسبه کرد [۱۰]:

$$I_{d|ground} = \frac{1}{2} \times I_h \times \rho_{ground} \quad (13)$$

$$I_{d|sky} = \frac{1}{2} \times D(\theta_z, Cf) \quad (14)$$

$I_h$  میزان تابش کل خورشیدی روی سطح افق نیز از رابطه زیر حاصل می شود [۱۱]:

میزان تهویه را در چگونگی تغییر دمای کلاسها بررسی می کنیم.

برای پیش بینی دمای هوای هر کلاس، تبادل حرارتی آن را با محیط اطراف در نظر می گیریم که این تبادل حرارتی از طریق شیشه ها، دیوارها، سقف و کف کلاس صورت می پذیرد و تابع عواملی چون اختلاف دمای هوای کلاس و دمای محیط، میزان تشعشع خورشیدی روی سطوح مختلف دیوارهای کلاس و میزان تشعشع حرارتی از دیوارهای خارجی و سقف به آسمان می باشد. همچنین بر اثر تهویه هوا بدلیل وجود پنجره و با ارتباط ساختمان با بادگیر، انتقال حرارت بین هوای کلاس و دیوارهای داخلی آن صورت می گیرد.

برای تعیین میزان تبادل حرارتی هر کلاس با محیط اطراف، دانستن شرایط اقلیمی محل (دما، رطوبت و سرعت هوا) ضروری است که این شرایط را می توان از آمارهای منتشره بوسیله سازمان هواشناسی استخراج نمود.

با نوشتن رابطه موازنه انرژی برای هر کلاس خواهیم داشت:

$$\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out} + \dot{Q}_S = \dot{Q}_{acc} \quad (7)$$

در رابطه فوق  $\dot{Q}_{acc}$  میزان حرارت ذخیره شده در هر لحظه در داخل کلاس می باشد که بر اساس فرمول زیر موجب تغییر دمای هوای کلاس می گردد:

$$\dot{Q}_{acc} = m_R C_{p,a} \frac{dT_R}{dt} \quad (8)$$

برای محاسبه  $\dot{Q}_{out}$  حرارت خروجی از کلاس از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$\dot{Q}_{out} = \sum_{i=1}^k A_{g,i} U_g (T_R - T_a) + A_f U_f (T_R - T_{s,f}) + \dot{m}_v C_{p,a} (T_R - T_a) \quad (9)$$

$\dot{Q}_{in}$  حرارت وارد شده به داخل کلاس بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

آورد:

$$\dot{Q}_S = N \times \dot{Q}_{sen} + A_f \times \dot{Q}_{lamp} \quad (19)$$

در رابطه بالا  $N$  تعداد دانش آموزان،  $\dot{Q}_{sen}$  حرارت محسوس اضافه شده بوسیله دانش آموزان،  $A_f$  سطح کف،  $\dot{Q}_{lamp}$  حرارت محسوس اضافه شده بوسیله لامپ‌ها در واحد سطح کف می باشد.

با جایگزین کردن روابط (۸) و (۹) و (۱۰) در رابطه (۷) خواهیم داشت:

$$\frac{dT_R}{dt} + \beta T_R = \eta(t) \quad (20)$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^k A_{g,i} U_g + \sum_{i=1}^6 A_{w,i} h_i + A_f U_f + \dot{m}_v C_{p,a}}{m_R C_{p,a}} \quad (21)$$

$$\eta(t) = \frac{\dot{Q}_a + \sum_{i=1}^6 A_{w,i} h_i T_{0,i} + \sum_{i=1}^k A_{g,i} U_g T_a + A_f U_f T_{sf} + \dot{Q}_s + \dot{m}_v C_{p,a} T_a}{m_R C_{p,a}} \quad (22)$$

برای بدست آوردن مقدار  $T_{0,i}$  (دمای سطح داخلی دیوار) لازم است توزیع درجه حرارت را در داخل دیوار بدست آوریم. با فرض یک بعدی بودن انتقال حرارت در داخل دیوار معادله دیفرانسیل انتقال حرارت ناپایدار به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} \quad (23)$$

برای حل معادله دیفرانسیل بالا از روش تفاضل محدود مرکزی (difference Central finite) استفاده می شود [۱۰ و ۲].

## ۶- نتایج:

در هر آزمایش، دمای محیط، فشار محیط، مقدار دبی جرمی نفتالین تصعید شده، دمای هوای خروجی از

$$I_h = I(\theta_z) \times \cos \theta_z \times (1 - Cf) + D(\theta_z, Cf) \quad (15)$$

$I(\theta_z)$  و  $D(\theta_z, Cf)$  از روابط زیر بدست می آیند:

$$I(\theta_z) = 951.55(1 - \exp(-0.075(90 - \theta_z))) \quad (16)$$

$$D(\theta_z, Cf) = 1.432 + 2.107(90 - \theta_z) + 121.3Cf \quad (17)$$

$\theta_z$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (18)$$

در رابطه بالا  $Cf$  ضریب ابر (Cloud factor) بوده و مقدار آن برای شهرهای مختلف و در ماههای مختلف از سال مشخص می باشد [۱۱].

مقداری حرارت نیز از طریق دانش آموزان و لامپها به هوای داخل کلاس داده می شود. مقدار حرارت اضافه شده از طریق دانش آموزان دارای دو مولفه حرارت محسوس و حرارت نهان می باشد که حرارت محسوس اضافه شده باعث بالا رفتن دمای هوای کلاس و حرارت نهان اضافه شده باعث بالا رفتن میزان رطوبت می شود و مقدار آنها تابع نوع فعالیت افراد و دمای خشک هوای کلاس می باشد. به عنوان مثال در تابستان اگر دمای خشک هوا  $29^\circ C$  باشد و دانش آموزان در حالت نشسته فرض شوند، به میزان ۴۶ وات حرارت محسوس و ۹۸ گرم در ساعت بخار آب توسط هر دانش آموز به محیط اضافه می شود.

لامپها نیز از طریق تبدیل انرژی الکتریکی به روشنایی و حرارت، تولید حرارت محسوس می کنند و این حرارت از طریق تشعشع و جابجایی به محیط داده می شود و مقدار آن با توجه به سطح کف هر کلاس از جداول موجود استخراج می شود. به عنوان مثال برای مدرسه میزان مصرف برق  $3 \text{ w} / \text{ft}^2$  می باشد [۱۲].

به این ترتیب  $\dot{Q}_s$  حرارت کل وارد شده از طریق دانش آموزان و لامپها را می توان از رابطه زیر بدست

تونل باد در سرعت‌های مختلف و اختلاف فشار بین دریچه بادگیر و پنجره هر کلاس اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به مقادیر بدست آمده از آزمایش، می‌توان میزان سرعت هوای ورودی به داخل کلاسها، عدد رینولدز، میزان تعویض هوا در ساعت و در نهایت ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا ( $h$ ) را در داخل هر کلاس بدست آورد.

در شکل (۲) دبی گرمی نفتالین تصعید شده از کلاسهای مختلف بر حسب اختلاف فشار مرجع RPD (Reference Pressure Difference) که تابعی از سرعت هوای خروجی از تونل باد می‌باشد، رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، نفتالین تصعید شده از کلاسهای ۱ و ۳ بیشتر از دبی گرمی نفتالین تصعید شده از کلاسهای ۲ و ۴ می‌باشد و دلیل امر این است که مطابق مدل ساخته شده، کلاسهای ۱ و ۳ نزدیک دریچه هوای ورودی به داخل ساختمان از بادگیر قرار دارند، بنابراین دبی گرمی هوای ورودی به این کلاسها بیشتر بوده و دبی تصعید شده نیز نسبت به کلاسهای دیگر بیشتر است.

در شکل (۳) اختلاف فشار اندازه‌گیری شده در دریچه بادگیر بوسیله لوله پیتوت در کلاسهای مختلف بر حسب RPD رسم شده است. اختلاف فشار حاصل برای کلاسهای ۱ و ۳ از کلاسهای ۲ و ۴ بیشتر است. و این به علت افت فشار کم در مسیر این کلاسهاست.

در شکل (۴) تغییرات تعداد تعویض هوا در ساعت ( $ach$ ) بر حسب سرعت هوای ورودی به داخل کلاس ۱ رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، با افزایش سرعت هوای در داخل کلاس میزان تهویه نیز بطور خطی افزایش می‌یابد.

در شکل (۵) تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی بر حسب RPD برای کلاسهای مختلف رسم شده است. این تغییرات همانند تغییرات دبی گرمی

تصعید شده می‌باشند، چون  $h$  رابطه مستقیم با دبی نفتالین تصعید شده دارد.

در شکل (۶) تغییرات  $h$  بر حسب  $ach$  رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، تغییرات  $h$  با  $ach$  مطابق رابطه تجربی بدست آمده زیر خطی است:

$$h_1 = 0.42 * ach + 0.59 \quad \left[ \frac{W}{m^2k} \right] \quad (24)$$

همچنین ضریب انتقال حرارت جابجایی حاصله از نتایج آزمایش برای ساختمان مذکور با رابطه تقریبی بکار برده شده توسط گلنشان (۵) مقایسه شده است. علت اختلاف زیاد بین این دو رابطه اینست که رابطه استفاده شده توسط گلنشان برای صفحه صاف صادق است در حالیکه  $h$  حاصله از نتایج آزمایش برای یک کلاس با شرایط مذکور بدست آمده است.

برای تعیین میزان تاثیر تعداد دانش آموزان و تهویه در تغییر دمای هوای کلاسها، با حل همزمان معادلات (۲۰) و (۲۳) شرایط حرارتی کلاسها را در ساعات مختلف شبانه روز بدست می‌آوریم. معادله (۲۰) یک معادله دیفرانسیل مرتبه اول می‌باشد و از روش رانج-کوتا (Roung-kutta) حل می‌شود. معادله (۲۳) یک معادله دیفرانسیل جزئی مرتبه دوم می‌باشد و از طریق روش تفاضل محدود Crank-Nicolson حل می‌گردد. بدلیل تغییرات ناگهانی دما در زمان حضور دانش آموزان در کلاسها، پریود زمانی انتخاب شده ۲ دقیقه می‌باشد. به این ترتیب با استفاده از برنامه کامپیوتری نوشته شده، دمای هوای کلاسها برای مدل مدرسه پیشنهادی در ساعات مختلف شبانه روز بدست می‌آید.

تاثیر تعداد دانش آموزان در بالا رفتن دمای هوای کلاسها برای شهر شیراز در ۱۵ تیر در شکل (۷) نشان داده شده است. حضور دانش آموزان از ساعت ۸ صبح الی ۶ بعد از ظهر باعث می‌شود دمای هوای کلاسها به طور متوسط حدود ۷ درجه بالا رود.

potential of the evaporation cooling techniques in the gulf region of the Kingdom of Saudi Arabia".Renewable Energy,Vol.3.No.1.PP.15-29,1993.

5-A.A.Golneshan and M.A.Yaghoobi,"

Simulation of ventilation strategies of a residential building in hot arid region of Iran".Jornal of Energy and Building ,Vol.14.PP.201-205,1990.

۶- امیر پاکزاد، "تحلیل دو نوع بادگیر جدید برای شرائط اقلیمی ایران"، رساله کارشناسی ارشد، ۱۳۷۶.

۷- بهرام قاضی زاده، "اصول ومعیارهای طراحی فضاهای آموزشی و پرورشی"، سازمان نوسازی وتوسعه وتجهیز مدارس کشور، چاپ اول ۱۳۷۳.

8- F.P.IncroperaandD.p.Dewitt،

Fundamentals of heat and mass transfer, John Wily and Sons Inc.,1990.

9- R.Souza Mendes، The naphtalene sublimation technique ” Journalof

Experimental thermal and Fluid Science,Vol.4.PP.510-523,1991.

۱۰- کبری ستوده مرام، " بررسی امکان استفاده ازجریان طبیعی بادبرای گرمایش وسرمایش مدارس در اقلیم های مختلف آب وهوائی ایران "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۳۷۸.

11-J.A.Duffie and W.A.Beckman, Solar engineering ofthermal processes. John Wiley &Sons, Inc.,1991.

۱۲- سید مجتبی طباطبائی، "محاسبات تاسیسات ساختمان"، چاپ سوم ۱۳۷۳.

در شکل(۸)تغییرات دمای هوای کلاس ۱ در طی شبانه روزبرای شهر شیراز به ازای ۳ بار تهویه روزانه وتهویه های مختلف شبانه نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، با افزایش تعداد تهویه شبانه کاهش بیشتری در دمای هوای کلاسها بوجود می آید.

اختلاف دمای ایجادشده بین دمای هوای کلاس ودمای محیط بوسیله جریان هوا در داخل ساختمان (۳) بار تهویه روزانه و ۳۰ بار تهویه شبانه)در شهرهای شیراز، آبادان، زاهدان وبوشهردر شکل(۹) نشان داده شده و حدود  $4^{\circ}\text{C}$  می باشد.همانطور که ملاحظه می شود،بوشهر دارای کمترین اختلاف دما می باشدوبه عبارت دیگر استفاده از جریان هوا در داخل ساختمان تاثیر چندانی در پائین آوردن دما در این شهر نداشته است.ولی در مورد شهرهای آبادان، شیراز، وزاهدان این تاثیر بیشتر است.

#### ۷- مراجع :

1- M.N.Bahadori ، “ Passive cooling systems in Iranianarchitecture”.Scientific American,Vol.238. NO.2.PP.144-154 ، 1978.

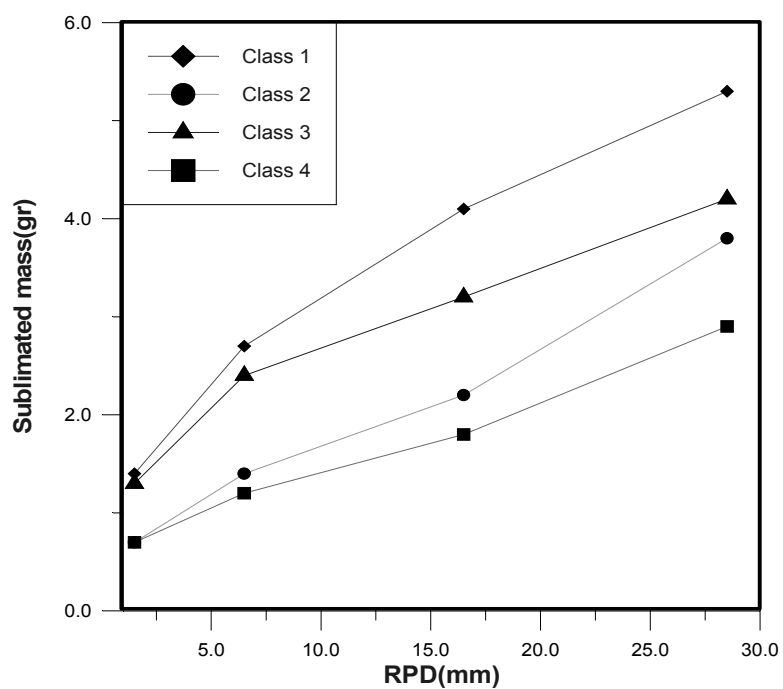
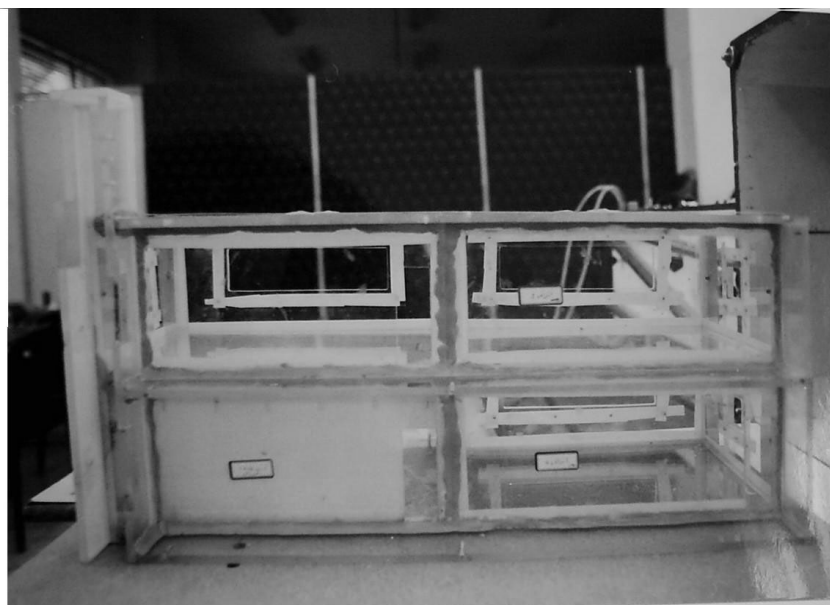
2- Golneshan.A.A.، “ Natural cooling of residential buildings in hot arid regions of Iran”. MS Thesis ، Shiraz University, Iran.1984.

3- M.A.Yaghoobi.A.Sabzevariand A.A.Golneshan ، “Windtowers measurments and performance”.Journal of SolarEnergy,Vol.47.No.2.P.97-106,1991.

4-M.Bajwa.E.Aksugur and G.Al-Otaibi ,The

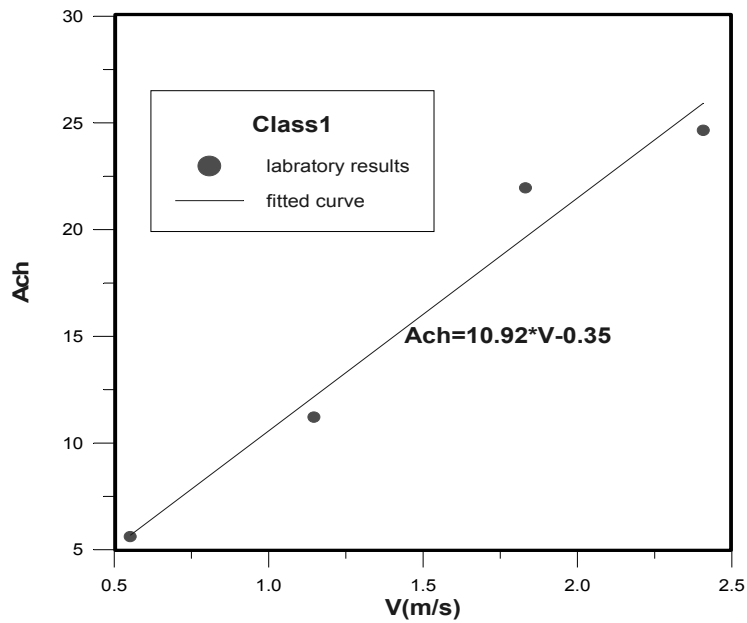
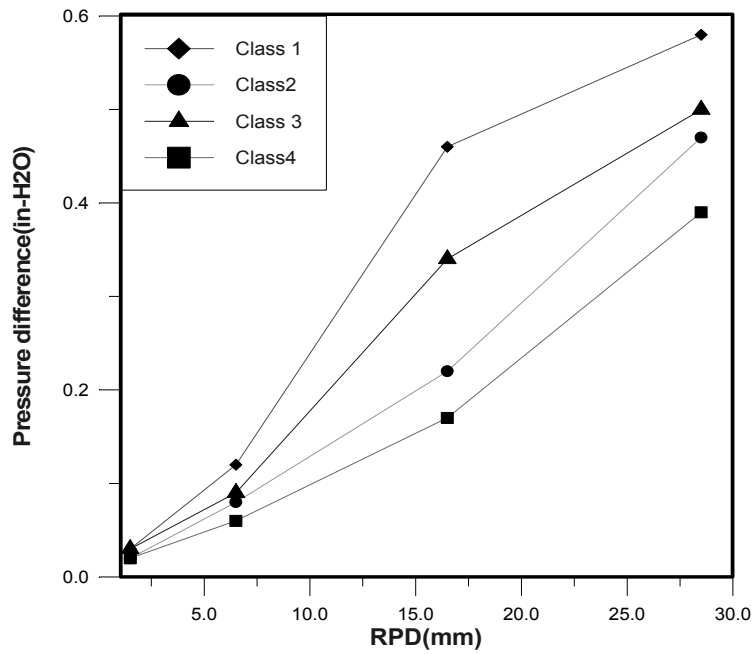


شکل (۱): مدل ساخته شده مدرسه پیشنهادی



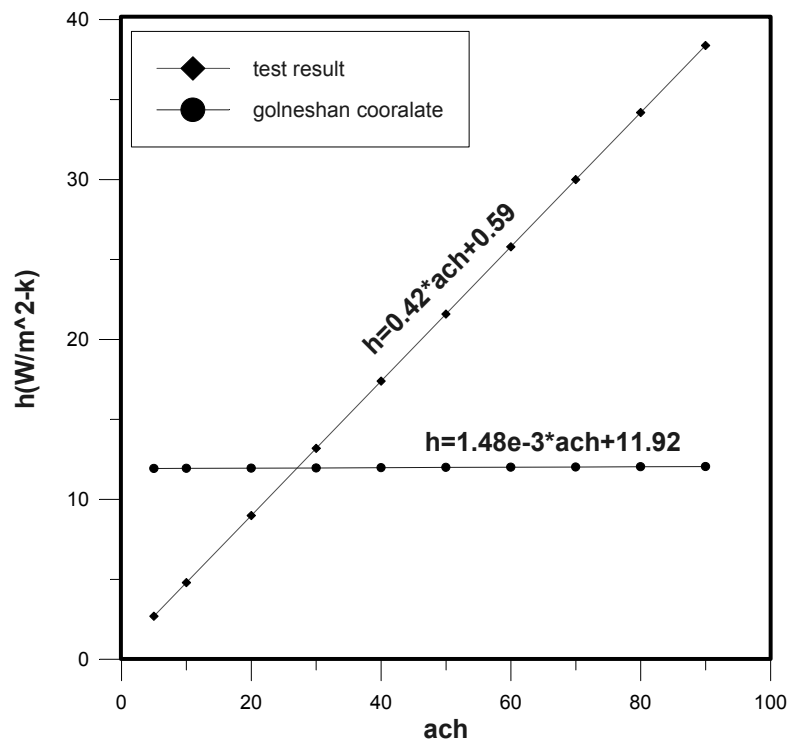
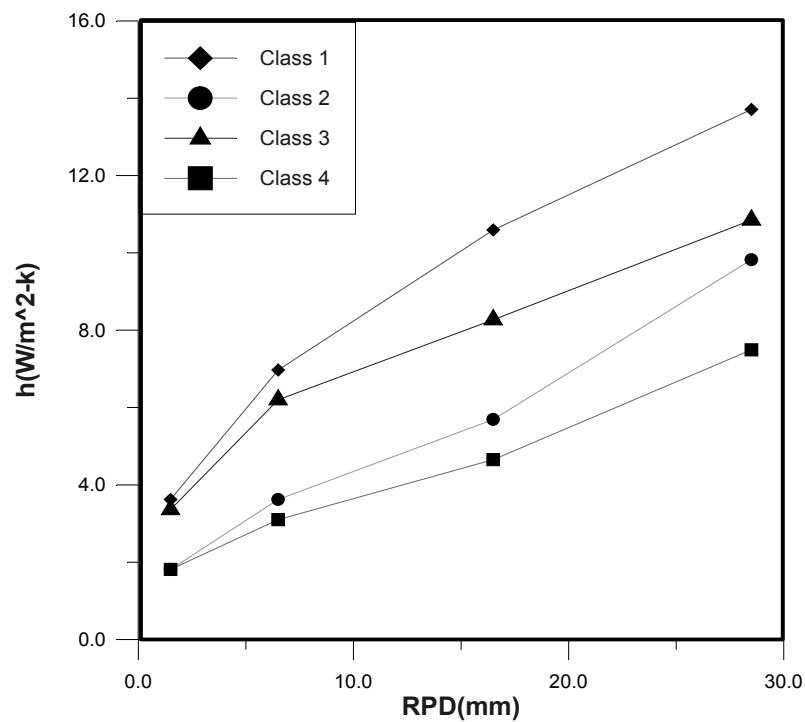
شکل (۲): دبی جرمی نفتالین تصید شده از کلاس نفتالین اندود شده بر حسب سرعت‌های مختلف هوای خروجی از تونل باد (RPD)

شکل (۳): اختلاف فشار اندازه گیری شده بر حسب سرعت‌های مختلف هوای خروجی از تونل باد (RPD)



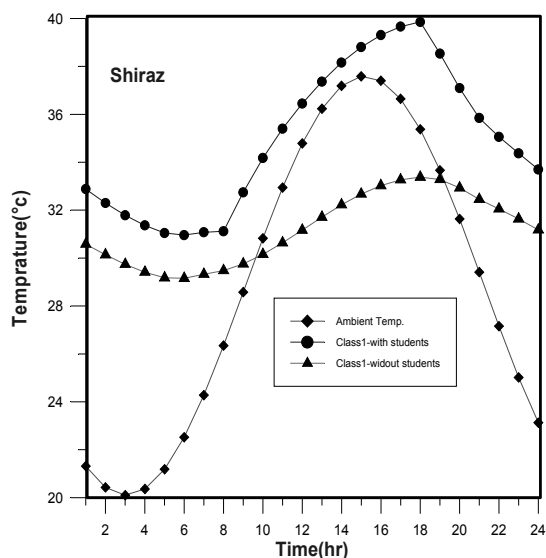
شکل (۴): تغییرات تعداد تعویض هوا در ساعت بر حسب سرعت هوا

شکل (۵): تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجائی هوا برای کلاسها بر حسب سرعتهای مختلف هوای خروجی از تونل باد (RPD)

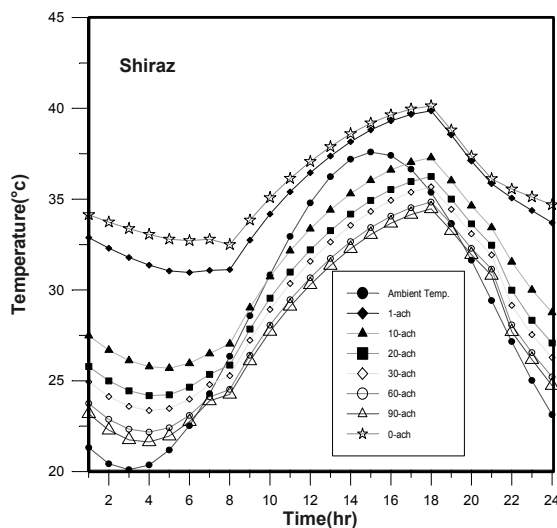


شکل (۶): مقایسه ضریب انتقال حرارت حاصله از آزمایش با رابطه بکاربرده شده توسط گلنشان (۳)

شکل (۷): تاثیر حضور دانش آموزان در افزایش دمای کلاس



شکل (۸): تاثیر تهویه های مختلف شبانه و ۳ بار تهویه روزانه در تغییر دمای کلاس



شکل (۹): اختلاف دمای ایجاد شده به ازای ۳۰ بار تهویه شبانه برای شهرهای مختلف

