مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 252-255

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی تهویه‌مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395

مهندسی مکانیک مدرس
mme.modares.ac.ir

ضخامت بهینه اقتصادی و حرارتی و محیط زیستی عایق دیوار ساختمان‌ها

هادی رامین[1*]، پدرام حنفی زاده[2]، محمد علی اخوان بهابادی[3]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
3- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران، تهران
* تهران، صندوق پستی 11155-4563، hadi.ramin@ut.ac.ir

چکیده

در این مقاله با استفاده از مدل حل گذرا (روش دقیق) به جای مدلهای تخمینی روز درجه گرمایی و سرمایی، بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز دیوار یک ساختمتان به منظور بهینه‌سازی ضخامت عایق آن، استفاده شده است. چیدمان دیوار به صورت بتن به عنوان ماده اصلی و پلی استارین (EPS) به عنوان عایق در نظر گرفته شده است. در این مقاله مسئله انتقال حرارت یک بعدی در دیواری چندلایه‌ای به منظور به دست آوردن توزیع دما حل شده است. به منظور به دست آوردن ضخامت بهینه عایق دیواری که هزینه را عایق و انرژی را کمینه می‌کند محاسبات اقتصادی برای طول عمر 25 سال انجام شده است. در این مقاله هم بار سرمایشی و گرمایشی هر دو به صورت همزمان در بهینه سازی استفاده شده‌اند. تاخیر زمانی و فاکتور کاهشی دیوار نیز به عنوان پارامتری دیگر هم در دیوار بدون عایق و هم در دیوار با عایق محاسبه شده است. جنبه‌های محیط زیستی مصرف انرژی در ساختمان شامل مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها به محیط نیز در نظر گرفته شده است. مقادیر بهینه ضخامت عایق به دست آمده و مصرف سالیانه سوخت و انتشار آلاینده‌های متناظر با حالت بهینه با دیواری بدون عایق مقایسه شده است. نتایج محاسبات نشان داد که استفاده از ضخامت عایق بهینه، بار حرارتی و سمرمایشی و همچنین میزان مصرف سوخت سالیانه و انتشار آلاینده‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

کلید واژگان: بهینه سازی حرارتی و محیط زیستی، ضخامت بهینه عایق، تاخیر زمانی و فاکتور کاهش

Thermal, Economical and Environmental Optimization of Insulation Thickness in Residential Building's Wall

Hadi Ramin*, Pedram Hanafizadeh*, Mohammad Ali akhavan behabadi

Department of Mechanical Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
* P.O.B. 11155-4563, Tehran, Iran, hadi.ramin@ut.ac.ir

ABSTRACT

In this study, dynamic transient model (Exact model) rather than annual heating and cooling degree-days method (crude and approximate one) was applied to calculate the annual heating and cooling loads in order to optimize the insulation wall thickness. Concrete and Expanded polystyrene (EPS) were considered as the main wall and insulation material respectively. One dimensional transient heat transfer problem for multilayer walls was solved to obtain the temperature distribution within the wall. In order to determine the optimum thickness, which minimizes the total cost of insulation and energy dissipation, the economic analysis was carried out for the lifetime of 25 years. Both heating and cooling loads are taken into account in the optimization process. Time lag and Decrement factor are also calculated for the un-insulated and insulated wall. Environmental aspects of energy consumption including fuel consumption and pollutant emissions are also investigated. Annual total fuel consumption and pollutant emissions were obtained for a wall with optimum insulation thickness and the results were compared with an un-insulated wall. The results demonstrated that the application of insulation materials in the optimum thickness decreases the total heating and cooling demands significantly. It is also found that using the insulation in buildings decreases annual fuel consumption and pollutant emissions considerably.

Keywords: thermal and environmental optimization, insulation thickness, time lag and decrement factor

1- مقدمه

بخش ساختمان (مسکونی و تجاری) یکی از بخش‌های اصلی مصرف کننده انرژی در کشورها می‌باشد. افزایش تقاضا برای مصرف انرژی در بخش ساختمان در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش جمعیت، مهاجرت به شهرهای بزرگتر و بهبود سطح استاندارد زندگی، بوده است. از این‌رو یافتن روش‌های به‌منظور بهنیه کردن مصرف انرژی در ساختمانها مسئله‌ای با اهمیت می‌باشد. اتلاف انرژی از پوسته ساختمان‌ها، یکی از منابع اصلی اتلاف انرژی در ساختمان‌ها می‌باشد و استفاده از عایق حرارتی در دیوارها نقش مهمی در کاهش این اتلافات دارد. انتخاب صحیح مصالح و چیدمان مناسب آن‌ها با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و جهت‌گیری دیوارها در کاهش با حرارتی سرمایشی و گرمایشی بسیار با اهمیت می‌باشد [1].

واضح است که هرچه ضخامت عایق بیشتر باشد، اتلاف انرژی کمتر خواهد شد. با این حال، افزایش ضخامت عایق باعث افزایش هزینه می‌شود (معمولا به صورت خطی هزینه عایق با ضخامت آن رابطه دارد) [1]. از این‌رو ضروری است که ضخامت عایق و جنس با در نظر گرفتن همزمان هزینه و کاهش انرژی اتلافی بهینه شود.

سهم بخش ساختمان از مصرف کل انرژی در ایران 37% می‌باشد [2]. انتشار کربن‌دی‌اکسید (CO_2)، سولفور دی‌اکسید (SO_2) و سایر گازهای مضر یکی از مهمترین مخاطرات محیط زیستی مرتبط با مصرف انرژی، خصوصا در شهرهای بزرگ می‌باشد. براساس گزارش وزارت نیرو، بخش ساختمان

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Please cite this article using:
H.Ramin, P.Hanafizadeh, M.A.akhavan behabadi, Thermal, Economical and Environmental Optimization of Insulation Thickness in Residential Building's Wall, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 252-255, 2016 (in Persian فارسی)

(مسکونی، تجاری و عمومی) حدود 25.6% از گازهای گلخانه‌ای را منتشر می‌کنند [2]. در ایران گاز طبیعی به منظور گرمایش ساختمان مورد استفاده می‌باشد و غالبا از برق به منظور تامین نیازهای سرمایشی استفاده می‌شود. در سال 2012، بیشترین سهم تولید برق مربوط به نیروگاه‌های حرارتی و به مقدار 36.1% درصد بوده، در حالی که نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، توربین گازی و نیروگاه‌های آبی به ترتیب 31.7%، 26.5% و 4.9% تولید برق را به خود اختصاص داده‌اند. در همین سال متوسط بازدهی نیروگاه‌های حرارتی 37.2% درصد بوده و 31.6% از تولید برق در بخش خانگی مصرف شده است. لازم به توضیح است که مصرف خانگی شامل سرمایش، لوازم خانگی و روشنایی می‌باشد. گاز طبیعی سوخت غالب نیروگاه‌ها می‌باشد و 63.4% کل سوخت نیروگاه‌ها، گاز طبیعی بوده و بعد از آن مازوت و گازوئیل به ترتیب با سهم 24.4% و 11.9% سوخت های عمده دیگر می‌باشند [2].

تخمین قابل اعتماد بار سرمایشی و گرمایشی یکی از مسایل مهم در ارتباط با بهینه‌کردن ضخامت عایق‌ها می‌باشند. یکی از مدل‌های تخمینی و ساده در شرایط استاتیک مدل روز درجه گرمایی و روز درجه سرمایی می‌باشد که محاسبات آن‌ها می‌تواند هم برمبنای دمای هوای اطراف و هم برمبنای دمای سول-ایر[1] باشد. مدل دینامیک وابسته به زمان یک مدل دقیق به‌منظور محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی می‌باشد [3]. باید ذکر شود که در محاسبات بهینه‌سازی ضخامت عایق می‌توان با توجه به نوع اقلیم، از سرمایش و یا گرمایش و یا به صورت همزمان از سرمایش و گرمایش استفاده کرد.

از جمله اهداف این مقاله، یافتن ضخامت بهینه عایق برای یک چیدمان متداول دیوار در شرایط آب و هوایی تهران می‌باشد. در این مقاله از روش دینامیک استفاده شده و بار گرمایشی و سرمایشی به‌صورت همزمان در نظر گرفته شده است. همچنین مسایل محیط زیستی مرتبط با بهینه کردن عایق حرارتی نیز در نظر گرفته شده است. به این منظور، ساختاری متداول از دیوار در شهر تهران (دیوار بتنی) در نظر گرفته شده است. پلی استایرن (EPS) نیز به عنوان عایق در نظر گرفته شده است. محاسبات بهینه‌سازی برای دیوارها و سقف در انجام شده است، ساختار دیوارها و سقف به صورت 2 سانتی‌متر سیمان در لایه بیرونی، 2 سانتی‌متر گچ در لایه درونی و 20 سانتی‌متر بتن در نظر گرفته شده است (شکل 1.a). همچنین یک دیوار چندلایه معمول و

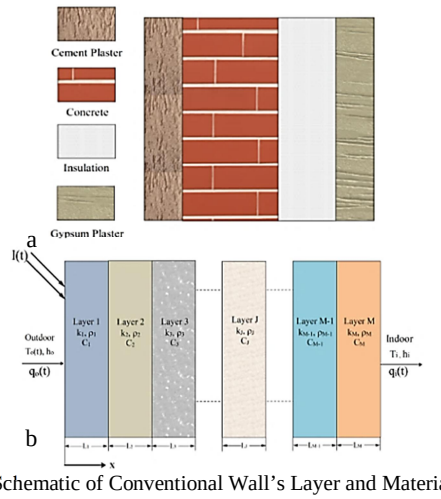

Fig. 1 (a) Schematic of Conventional Wall's Layer and Materials, (b) Multilayer Wall and Boundary Condition on it

شکل 1 الف) نمایی از دیوار در نظر گرفته شده و ب) مدل دیوار چندلایه و شرایط مرزی آن

خواص ترموفیزکی دیوار به‌منظور مدل‌سازی در "شکل 1.b" نشان داده شده است.

معادلات حاکم بر حل دینامیک این مسئله در مقاله‌ای نوشته شده توسط نویسندگان مقاله حاضر به صورت کامل آورده شده است و از تکرار آن در این‌جا خودداری می‌شود [4].

مسایل محیط زیستی مرتبط با استفاده از عایق‌ها در ساختمان از جمله موارد مهم این مقاله می‌باشند. افزایش ضخامت عایق باعث کاهش انتشار آلودگی محیط زیستی می‌شود. همان‌طور که قبلا نیز بدان اشاره شد گاز طبیعی معمولا به منظور تامین گرمایش در زمستان و برق به‌منظور تامین سرمایش در تابستان مورد استفاده می‌باشد. از این‌رو می‌توان فرمول عمومی زیر را برای سوخت مورد استفاده به‌منظور تامین سرمایش و گرمایش در نظر گرفت [5]:

$$C_aH_bO_dS_eN_f + \epsilon.X(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow aCO_2 + \left(\frac{b}{2}\right)H_2O + (\epsilon - 1)XO_2 + eSO_2 + YN_2 \quad (1)$$

که در آن X و Y ثابت بوده و از حل معادله موازنه اکسیژن به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$X = \left(a + \frac{b}{4} + e - \frac{d}{2}\right) \text{ AND } Y = 3.76.\epsilon.X + (f/2) \quad (2)$$

در معادله عمومی سوختن سوخت ناکسی‌ها و مونواکسید کربن در نظر گرفته نشده‌اند. دو گاز خطرناک حاصل از سوخت یعنی CO_2 و SO_2 که از سوختن یک کیلوگرم سوخت حاصل می‌شوند را می‌توان از روابط زیر استخراج نمود [6]:

$$M_{CO_2} = \frac{aCO_2}{M} = \text{kg}\frac{CO_2}{\text{kg}} \text{ fuel} \quad (3)$$

$$M_{SO_2} = \frac{aSO_2}{M} = \text{kg } SO_2/\text{kg fuel} \quad (4)$$

M وزن مولی سوخت بوده و از رابطه زیر حاصل می‌شود [6]:

$$M = 12a + b + 16d + 32e + 14f \text{ kg/kmol} \quad (5)$$

کل انتشار CO_2 و SO_2 را می‌توان با استفاده از روبط زیر به‌دست آورد [6]:

$$M_{CO_2} = \frac{44a}{M}M_F \text{ AND } M_{SO_2} = \frac{64e}{M}M_F \quad (6)$$

مصرف سالیانه سوخت متناظر با تامین بار گرمایشی و سرمایشی نیز از رابطه زیر به دست می‌آید [6]:

$$M_F = \left(\frac{Q_h.\rho}{H_u.\eta_s}\right) + \left(\frac{Q_c.\rho}{\text{COP}.\eta_P}\frac{1}{H_u}\right) \quad (7)$$

در رابطه بالا η_P متوسط بازدهی نیروگاه‌های تولید کننده برق است که ثابت و برابر با 37.2% در نظر گرفته است [2]. در ایران مصرف مستقیم سوخت نیروگاه‌ها به‌منظور برآورده کردن تامین نیاز گرمایشی یا سرمایشی (و نه روشنایی) ساختمان‌ها، معمولا در تابستان بوده و به‌منظور تامین سرمایش می‌باشد. در تابستان نیروگاه‌ها از گاز طبیعی به‌عنوان سوخت خود استفاده می‌کنند، با این حال در تابستان‌ها و به دلیل کمبود گاز طبیعی در اثر افزایش مصرف بخش مسکونی جهت تامین گرمایش، نیروگاه‌ها مجبورند از مازوت و یا گازوئیل استفاده کرده و این امر منجر به افزایش میزان انتشار آلاینده‌ها می‌شود. از آن‌جایی که که این بخش به صورت غیرمستقیم و در اثر نیاز گرمایشی ساختمان‌ها، منجربه افزایش میزان انتشار آلودگی می‌شود، به منظور سادگی در این مقاله در نظر گرفته نشده است، با این حال هب لحاظ محیط زیستی بسیار با اهمیت می‌باشد. در مقاله حاضر گاز طبیعی به عنوان سوخت غالب نیروگاه‌ها در نظر گرفته شده است. گاز طبیعی عمدتا از متان تشکیل شده است اما شامل پروپان و سایر هیدروکربن‌های سنگین نیز می‌باشد. به‌منظور سادگی محاسبات در این مقاله فرمول عمومی گاز طبیعی

[1] Sol-Air temperature

به‌صورت $C_{1.05}H_4O_{0.034}N_{0.022}$ در نظر گرفته شده است. روش محاسبات عددی نیز در مقاله دیگری از همین نویسندگان به‌صورت مبسوط ارائه شده است [4].

2- نتایج و بحث

در این مقاله بهینه‌سازی حرارتی و اقتادی ضخامت عایق در یک دیوار معمولی در اقلیم تهران انجام شده است. تمامی جهات اصلی دیوار (شرق، غرب، جنوب و شمال) و سقف (افقی) در نظر گرفته شده است. دمای واقعی هوای بیرون از متوسط‌گیری دما هوا در بازه زمانی 2012-2006 حاصل شده است [7].

به منظور انجام محاسبات در تمام سال، روزی از ماه را به عنوان نماینده یک ماه در نظر گرفته شده است. این روز معمولا در مطالعات روزهای 21 ماه‌های میلادی که مطابق با اول ماه‌های شمسی می‌باشند در نظر گرفته می‌شود [1].

"شکل 2a و b" نشان‌دهنده تابش حرارتی رسیده به دیوار در روزهای 21 جولای و 21 ژانویه به‌عنوان نماینده‌های تابستان و زمستان نشان داده شده است. همچنان که انتظار می‌رود بیشینه تابش رسیده در زمانهای مختلفی در دیوارهای با جهت‌های مختلف اتفاق می‌افتد. دیوارهای شرقی و غربی تابش مشابهی را دریافت می‌کنند. بار سالیانه سرمایشی و گرمایشی نیز برای دیواری جنوبی در مقابل ضخامت عایق در "شکل 3" نشان داده شده است، سایر جهت‌های دیوار نیز مشابه بوده و از آوردن آن در اینجا خودداری شده است. از این شکل مشخص می‌شود که بار گرمایشی، بار غالب شهر تهران می‌باشد. با افزایش ضخامت عایق، بار حرارتی کاهش می‌یابد. از "شکل 3" مشاهده می‌شود که در دیوار با ضخامت عایق 15 سانتی‌متری، میزان بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز یک هشتم دیوار بدون عایق می‌باشد.

شکل a 4 وb نشان‌دهنده تغییرات تاخیر زمانی و فاکتور کاهش در دیوارها در مقابل ضخامت عایق می‌باشد. از این دو شکل مشخص می‌شود که جهت دیوارها اثر بسیار مهمی در تاخیر زمانی و فاکتور کاهش دارد. افزایش ضخامت عایق دیوارها، باعث افزایش تاخیر زمانی و کاهش فاکتور کاهش می‌شود، با این در ضخامت‌های بالاتر این نرخ افزایش یا کاهش، کاهش می‌یابد. همچنین قابل توجه است که دیوار شرقی بیشترین مقدار تاخیر زمانی و کمترین مقدار فاکتور کاهش را در میان سایر جهت دیوارها و سقف را به خود اختصاص داده است.

محاسبات اقتصادی به منظور به‌دست آوردن ضخامت بهینه عایق انجام شده است. پارامترهای اصلی موردنیاز در این آنالیز در مقاله دیگری از همین نویسندگان استخراج شده است [4]. هزینه عایق به صورت خطی با افزایش ضخامت آن افزایش می‌یابد، در حالی که هزینه انرژی موردنیاز در طول سال کاهش می‌یابد. باید ضخامتی از عایق وجود داشته باشد که در آن ضخامت هزینه عایق و انرژی کمینه باشد.

"شکل 5"دیاگرام هزینه را در مقابل ضخامت عایق برای دیوار افقی به عنوان نمونه نشان می‌دهد. سایر دیوارها نیز دیاگرامی مشابه خواهند داشت. مشاهده می‌گردد که ضخامت 6.89cm، 5.6 cm، 6.24 cm، 6.2 cm و 6cm ضخامت‌های به‌دست آمده بهینه برای دیوارهای به ترتیب با جهات افقی، جنوبی، شرقی، غربی و شمالی می‌باشند. دیوار جنوبی کمترین ضخامت بهینه عایق را به خود اختصاص داده و دیوار افقی نیز بیشترین ضخامت بهینه را دارد.

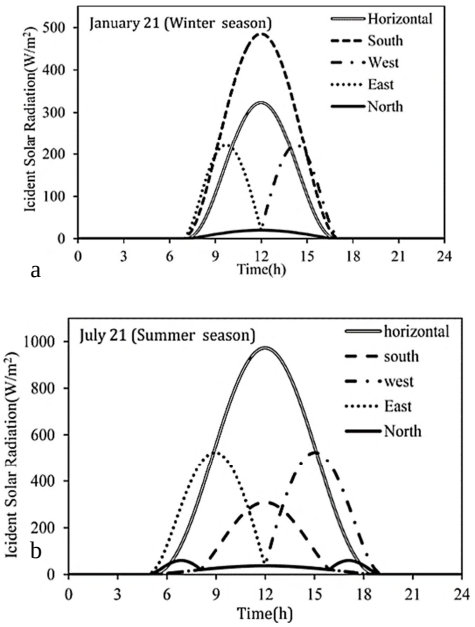

Fig. 2 Hourly Incidents Solar Radiation on Horizontal and All Vertical Walls Orientation in Representative Days of (A) July (Summer Season) and (B) January (Winter Season)

شکل2 تابش ساعتی رسیده بر دیواری افقی و سایر جهت‌های اصلی دیوارها در روزهای نماینده ماه‌ها برای الف) فصل تابستان (21 جولای) و ب) فصل زمستان (21 ژانویه)

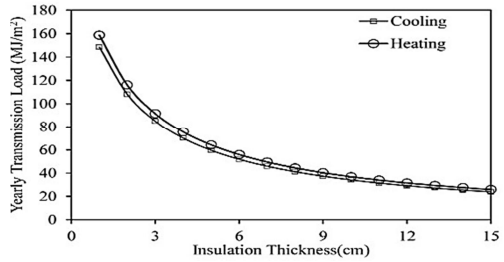

Fig. 3 Variation of Yearly Transmission Load with Insulation Thickness in South Oriented Wall

شکل 3 تغییرات بار حرارتی سالینه با ضخامت عایق در دیوار جنوبی

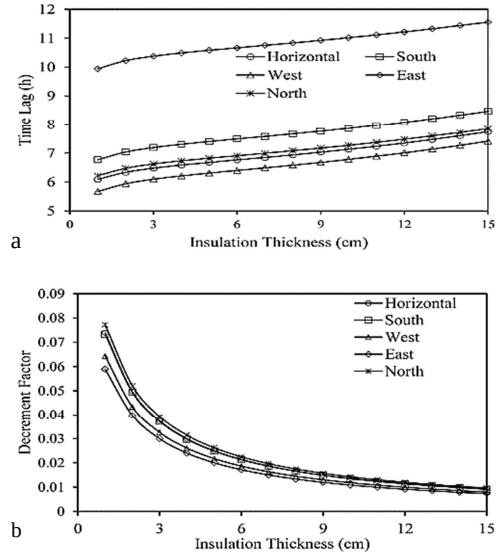

Fig. 4 Time Lag (a) and Decrement Factor (b) for All Walls' Orientations and Horizontal Wall

شکل 4 الف) تاخیر زمانی و ب) فاکتور کاهش برای جهات اصلی دیوار و سقف

ضخامت بهینه عایق، صرفه‌جویی در مصرف انرژی در زمان عمر دیوار بر واحد متر مربع و دوره بازگشت سرمایه برای دیوارهای با جهات مختلف در جدول 1 نشان داده شده است. هزینه انرژی در ایران پایین‌تر از هزینه انرژی در دیگر کشورها می‌باشد، از این انتظار می‌رود که با افزایش هزینه انرژی، ضخامت بهینه عایق افزایش و طول دوره بازگشت کاهش یابد. بار گرمایشی و سرمایشی کل نیز در ضخامت بهینه عایق به‌دست آمده و مشاهده شد که بار گرمایشی و سرمایشی سقف در ضخامت بهینه عایق 19.7% و 19.4% مقدار بارهای در حالت سقف بدون عایق می‌باشد. همچنین این مقادیر برای دیوار جنوبی به ترتیب، 23.6% و 23%، برای شرقی و غربی به ترتیب 19.1% و 18.8% و برای دیوار شمالی به ترتیب 22.1% و 22% درصد بوده است. مشاهده می‌شود که دیوار جنوبی بالاترین میزان کاهش بار حرارتی و سرمایشی را نسبت به سایر دیوارها داشته است.

مصرف سالیانه سوخت و همچنین انتشار CO_2 به ازای هر متر مربع از دیوارها نیز با افزایش ضخامت عایق کاهش می‌یابد. در جدول 2 مصرف سالیانه سوخت و انتشار CO_2 در جهات اصلی دیوار و سقف در دیواری با ضخامت بهینه عایق نشان داده شده است. در این جدول این مقادیر در حالت بدون عایق نیز جهت مقایسه نشان داده شده است. در مقدار بهینه ضخامت عایق، میزان مصرف سالیانه سوخت و همچنین انتشار دی اکسید کرین کمتر از 25 درصد دیوار بدون عایق می‌باشد.

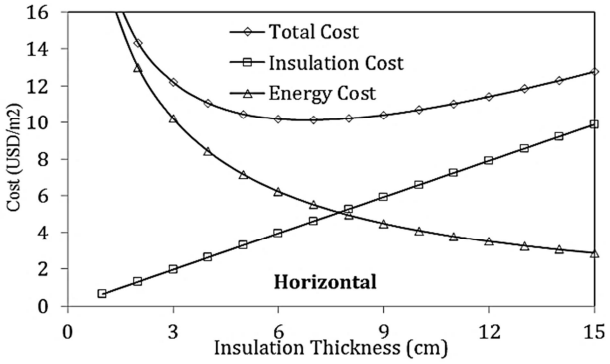

Fig. 5 Cost Diagram Versus Insulation Thickness for Horizontal Wall

شکل 5 دیاگرام هزینه در مقابل ضخامت عایق برای سقف

جدول 1 ضخامت بهینه عایق، دوره بازگشت سرمایه و صرفه‌جویی سالیانه در مصرف انرژی بر هر متر مربع از دیوار در تمامی جهات اصلی دیوار و سقف

Table 1 Optimum Insulation Thickness, Payback Period and Energy Saving Per Each Square Meter of Insulation in All Wall Orientation

Wall's Orientation	Hor	South	West	East	North
Optimum thickness	6.9	5.6	6.2	6.2	6.0
Energy saving (USD/m2)	18.4	12.1	15	15	13.7
Payback period (years)	4.2	5	4.6	4.6	4.8

جدول 2 مصرف سالیانه سوخت و انتشار دی اکسید کرین در دیوار با ضخامت بهینه عایق و بدون عایق (سطر دوم مربوط به مقادیر در حالت بهینه می‌باشد و سطر اول آن متناظر با مقادیر در حالت دیوار بدون عایق می‌باشد.)

Table 2 Fuel Consumption and CO2 Emission in Wall with Optimum Insulation Thickness and Without Insulation (second and first line respectively)

Wall's Orientation	Hor	South	West	East	North
Yearly Fuel Consumption (kg/m2)	16.3 3.2	12.0 2.8	13.9 3	13.9 3	12.5 2.8
Yearly CO_2 Emission (kg/m^2)	43.1 8.4	31.7 7.4	36.7 7.9	36.7 7.9	33.2 7.3

3- نتیجه‌گیری

در این مقاله ضخامت عایق حرارتی بهینه با در نظر گرفتن بارهای سرمایشی و گرمایشی برای دیواری معمولی در شهر تهران محاسبه شده است. از مدل دینامیک مدل‌سازی انتقال حرارت در تمامی جهات اصلی دیوار استفاده شده و همچنین مسایل محیط زیستی مرتبط با مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در ساختمان بررسی شده است. مصرف سالیانه سوخت و انتشار آلاینده کربن دی اکسید به عنوان پارامترهای محیط زیستی در نظر گرفته شده است. نشان داده شده که سقف دارای بالاترین ضخامت بهینه عایق حرارتی و دیوار جنوبی نیز پایین‌ترین ضخامت عایق حرارتی را به خود اختصاص داده است. آنالیز محیط زیستی نیز نشان داده است که مصرف سوخت و انتشار دی اکسیدکربن نیز با به‌کار بردن عایق در ضخامت بهینه به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در این حالت این دو مقدار به کمتر از 25% دیوار بدون عایق می‌رسند. در نهایت ملاحظه می‌شود که به‌دلیل عمر پایین ساختمان‌ها در ایران و هزینه پایین انرژی، دوره بازگشت سرمایه بالا می‌باشد که با افزایش عمر دیوارها و قیمت انرژی، استفاده از عایق‌ها ضروری و بسیار مقرون به‌صرفه خواهد شد.

4- مراجع

[1] Ozel, M. 2013. "Thermal, economical and environmental analysis of insulated building walls in a cold climate." *Energy Conversion and Management* 76: 674-684.

[2] 2013. Ministry of Energy . http://www.moe.gov.ir/.

[3] Kaynakli, O. 2012. "A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications." *Renewable and Sustainable Energy Review* 16: 415-425.

[4] Ramin, H, Hanafizadeh, P, and Akhavan-Behabadi, M A. 2015. "Determination of optimum insulation thickness in different wall orientations and locations in Iran." *Advances in Building Energy Research*: 1-23.

[5] Dombayci, OA. 2007. "The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings." *Buildings Environment* 42: 3855-9.

[6] Yildiz, A, G Gurlek, M Erkek, and N Ozbalta. 2008."Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings." *Journal of Thermal Science and Te*chnology 28 (2): 25-34.

[7] 2013. I. R. Iran's Meterological Organization. www.weather.ir.