



## بهبود عملکرد بادگیر با استفاده از کانال درون زمینی

حسین صادقی<sup>1\*</sup>، ولی کلانتر<sup>2</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد

\* یزد، صندوق پستی 89195-741، h.sadeghi@stu.yazd.ac.ir

### چکیده

از آن جا که در گذشته استفاده از انرژی الکتریسیته و سایر انرژی های امروزی هنوز توسعه نیافته بوده، بشر ناگزیر به دنبال یافتن روش هایی برای تأمین آسایش در زندگی خود بوده است. یکی از این موارد بادگیرها هستند که از دیرباز تاکنون مورد استفاده و استقبال عامه مردم کویرنشین و اقلیم گرم و خشک بوده است. اکنون علاوه بر تمایل روزافزون محققان و مردم به استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، تمایل بیشتری در جهت بهبود کارایی و عملکرد روش های سنتی دارند. در کار حاضر روشی مینی بر استفاده از کانال درون زمینی برای تأمین هوای اتاق پیشنهاد و بررسی شده است. چرا که زیر سطح زمین دمای خاک بسیار کمتر از سطح است و با توجه به حجم زیاد خاک خود می تواند بدون هیچ هزینه و مصرف انرژی به عنوان یک چاه حرارتی مورد استفاده و بهره برداری قرار گیرد. در این کار دو نوع کانال درون زمینی در نظر گرفته شده، یکی کانال خشک که فقط با توجه به دمای خاک مدل سازی شده و دیگری کانال مرطوب است که با فرض استفاده از قنات یا نهر یا اضافه کردن آب به صورت دستی انجام گرفته است. نتایج برای هر دو حالت ارائه و مقایسه شده اند و نتیجه گرفته شده است که این روش تأثیر بسزایی در کاهش دمای ورودی به ساختمان دارد.

کلید واژگان: انرژی تجدیدپذیر، بادگیر، تهویه مطبوع، سرمایش، کانال درون زمینی

## Improvement of Baad-Gir performance using underground channel

Hosein Sadeghi\*, Vali Kalantar

Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

\*P.O.B. 89195-741, Yazd, Iran, h.sadeghi@stu.yazd.ac.ir

### ABSTRACT

Since the electricity and the other modern energy sources had not been developed in the past, human being inevitably was trying to find ways to provide comfort of living. One of these cases is Baad-Gir which since a long time ago has been used and appreciated by the general public in hot and dry climate zones dwellers. Now, in addition to growing tendency of researchers to use renewable energy, they are more than willing to improve performance of traditional methods. In the present work, a method has been proposed and investigated to provide room air based on using underground channel. Since the sub-surface soil temperature is much lower than the surface and due to the large volume of soil, it can be considered and used as a heat sink, without any costs and power consumption. In this work, two channels are considered, dry one which is modeled according to soil temperature and the other wet one, via using Ghanat or by adding water manually. Results are compared and it is concluded that this method could be effectively used to decrease temperature of entrance air to the building.

**Keywords:** Renewable energy, Baad-Gir, Air conditioning, HVAC, Cooling, Underground channel

### 1- مقدمه

استفاده در منازل هستند و همچنین با توجه به اثر انرژی تشعشعی خورشید بر سطح بادگیر و گرم شدن آن، دمای هوای در گردش نیز بالاتر می رود. مطالعات تجربی پرل موتر و همکاران [3] و بادران [4] پیرامون عملکرد بادگیرها و پژوهش کونینگهام [5] و نوانگا [6] در مورد ترکیب بادگیر و دودکش خورشیدی گزارش شده اند. نتایج این تحقیقات نشان داده است که تهویه با دودکش خورشیدی امکان پذیر است و همچنین، اثر دودکش خورشیدی بیشتر از انرژی باد است که این سیستم ترکیبی می تواند کارایی بیشتری با نرخ جریان هوای چندین برابر نسبت به حالت عادی داشته باشد. هوگس و قانی [7] با کار عددی خود در مورد بادگیرها تأیید کردند که تغییر جزئی در فشار هوا می تواند جریان هوای کافی برای آسایش دمایی داخل ساختمان برای ساکنین فراهم سازد. با توجه به این که در طول روز جهت باد در حال تغییر است، در نتیجه میدان فشار تغییر کرده و با قرار گرفتن ورودی های یک بادگیر در جهت باد سمت دیگر به عنوان خروجی جریان هوا عمل می کند که این فرآیند دائم در جریان است، یعنی دهانه ها

در مناطق با آب و هوای گرم به منظور سرمایش ساختمان ها انرژی زیادی برای خنک کردن به روش های مختلف صرف می شود که همواره تحقیق های مهندسی به منظور کاهش مصرف انرژی و همچنین تقویت بازده روش های گوناگون انجام گرفته است. آنچه که از گذشته تاکنون در برخی شهرها و مناطق کشور ایران مرسوم بوده، استفاده از بادگیرها و کانال های هدایت کننده جریان هوای بیرون به داخل ساختمان جهت تهویه مطبوع است که خود یک ایده بسیار هوشمندانه جهت صرفه جویی در مصرف انرژی و استفاده از انرژی های تجدید پذیر مثل انرژی باد است که حتی در مناطقی که از امکانات شهری نیز برخوردار نیستند، قابل اجراست.

بهادری [1] با معرفی و بررسی سازه های بادگیری که در ایران استفاده شده است جزئیات و کارایی آن ها را بیان کرده است. یعقوبی و همکاران [2] پی بردند که بادگیرها نه تنها در هنگام وزش بادهای قوی مؤثر هستند بلکه در شرایط آب و هوایی آرام نیز با ایجاد یک جریان هوای مناسب نیز قابل

Please cite this article using:

H.Sadeghi, V.Kalantar, Improvement of Baad-Gir performance using underground channel, Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations, Vol. 16, No. 13, pp. 28-31, 2016 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

### 3- معادلات حاکم و روش عددی

معادلات حل شده برای کار حاضر معادلات مومنتوم، پیوستگی و انتقال حرارت دوبعدی غیرپایا هستند. باید توجه کرد که این مسأله در دو حالت تک‌فازی و دوفازی حل شده است. معادلات برای حالت کلی که شامل جریان دوفازی نیز می‌شوند آورده شده‌اند. در این مسأله معادلات با توجه به کسر حجمی بازنویسی می‌گردند.

معادله مومنتوم:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla \cdot [\mu(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (1)$$

در معادله (1)،  $\rho$  چگالی،  $P$  فشار،  $\mu$  لزجت،  $\vec{v}$  بردار سرعت،  $\rho \vec{g}$  نیروی گرانشی و  $\vec{F}$  نیروی خارجی هستند.

معادله کسر حجمی:

$$\frac{1}{\rho_q} \left[ \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^2 (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (2)$$

در معادله (2)،  $q$  شماره فاز سیال،  $\alpha_q$  کسر حجمی فاز  $q$ ،  $S_{\alpha_q}$  ثابت اختیاری منبع جرم هر فاز و  $\dot{m}_{qp}$  انتقال جرم از فاز  $q$  به فاز  $p$  است و همچنین بالعکس برای  $\dot{m}_{pq}$ .

معادله انرژی:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + P)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) + S_h \quad (3)$$

پارامترهای معادله 3،  $E$  گرمای ویژه ترکیب دوفاز،  $k_{eff}$  رسانش حرارتی مؤثر و ترم منبع  $S_h$  مانند سایر ترم‌های منبع حرارتی حجمی اثر انتقال حرارت تشعشعی در معادله هستند. در معادله (3)،  $E$  از رابطه (4) محاسبه می‌گردد.

$$E = \frac{\sum_{q=1}^2 \alpha_q \rho_q E_q}{\sum_{q=1}^2 \alpha_q \rho_q} \quad (4)$$

معادله بقای جرم:

$$\frac{\partial \rho}{\partial x} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (5)$$

در معادله (5)، جرم اضافه شده از فاز متفرق مثل بخار به فاز پیوسته است. برای حل عددی معادلات حاکم از نرم‌افزار تجاری انسیس فلونت 15<sup>1</sup> که براساس روش حجم محدود عمل می‌کند استفاده شده است. در این نرم افزار از مدل حجم سیال<sup>2</sup> برای حل مسأله دوفازی، مدل  $k-\epsilon$  برای مدل‌سازی جریان آشسته بهره گرفته شده است.

شرایط مرزی مسأله با توجه به فیزیک آن، ورودی جریان هوا با سرعت 1 m/s دمای 313°K و مرز بالا با توجه به انتخاب فاصله مناسب تا بادگیر، سرعت افقی 1 m/s دارد. شرط مرزی دمایی برای دیوارهای ورودی کانال با توجه به دمای میانگین زیر سطح زمین 283°K [9] در نظر گرفته شده است و دمای آب نیز همین مقدار فرض شده است. درمورد سایر مرزها، شرط حرارتی ترکیبی برای نزدیکی بیشتر مدل‌سازی به فیزیک واقعی انتخاب شده است.

### 4- نتایج عددی

#### 4-1- اعتبارسنجی

اعتبارسنجی کار حاضر که شامل روش عددی و مدل‌های استفاده شده می‌شود

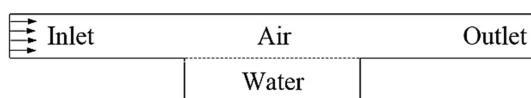


Fig. 3 Geometry of validation

شکل 3 هندسه اعتبارسنجی

<sup>1</sup> ANSYS Fluent

<sup>2</sup> VOF (Volume Of Fluid)

همواره به عنوان ورودی یا خروجی عمل می‌کنند. کلانتر [8] در جهت بهبود عملکرد بادگیرها، نشان داده است که با تولید رطوبت از طریق پاشش آب داخل جریان هوای ورودی در بادگیر می‌توان دمای هوای ورودی را به مقدار قابل توجهی کاهش داد و از طرفی با این فرآیند رطوبت هوای ورودی نیز افزایش یافته که در مناطقی که رطوبت هوا پایین‌تر از محدوده آسایش است بسیار کاربردی به نظر می‌رسد.

با توجه به مروری که انجام شد، استفاده از بادگیر از گذشته تاکنون قابل توجه بوده است و مدل‌های گوناگونی معرفی شده‌اند. کار حاضر در جهت بهبود عملکرد بادگیرها و همچنین معرفی روشی جدید از نظر تحقیقات در این حوزه و بررسی عددی آن در جهت کاهش دمای ورودی، انجام گرفته است. در این کار، مطابق با "شکل 1"، با در نظر گرفتن یک کانال حفر شده درون زمین به عنوان مجرای ورودی هوا به داخل ساختمان در دو حالت بررسی شده است که یکی تنها استفاده از دمای پایین زیر سطح زمین با کانال خشک و دیگری اضافه کردن آب در کف کانال، به عنوان کانال مرطوب در این کار، صورت گرفته که نتایج در هر دو حالت بررسی و مقایسه شده‌اند.

### 2- بیان مسأله

برای مدل سازی این کار، سطحی با ابعاد 8x4 متر به عنوان اتاق، کانال با ارتفاع 0.5 و طول 20 متر در نظر گرفته شده که ورودی آن از محوطه‌ای خارج از اتاق شروع شده و به کف اتاق وارد می‌شود. در حالت دوم که از آب استفاده می‌شود، ارتفاع سطح آب داخل کانال 0.2 متر اختیار شده است. جریان هوای ورودی به اتاق پس از تهویه و کاهش دمای داخل اتاق از طریق بادگیر به ارتفاع 20 متر و عرض 1 متر به محیط بیرون منتقل می‌شود که مشخصات در "شکل 2" مشخص شده‌اند.

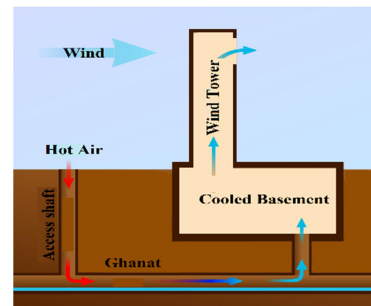


Fig. 1 Operation of underground cooling method

شکل 1 عملکرد روش سرمایش درون‌زمینی

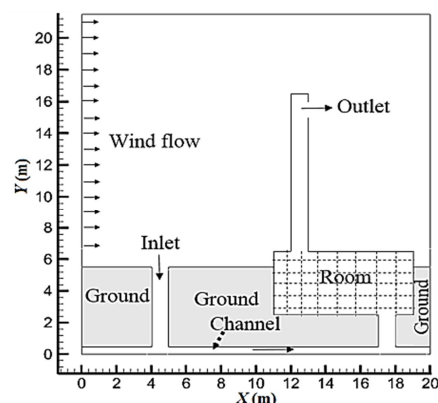


Fig. 2 Schematic of the problem with horizontal and vertical sections (dotted) to temperature extraction

شکل 2 هندسه مسأله همراه با مقاطع افقی و عمودی (نقطه چین) برای استخراج دما

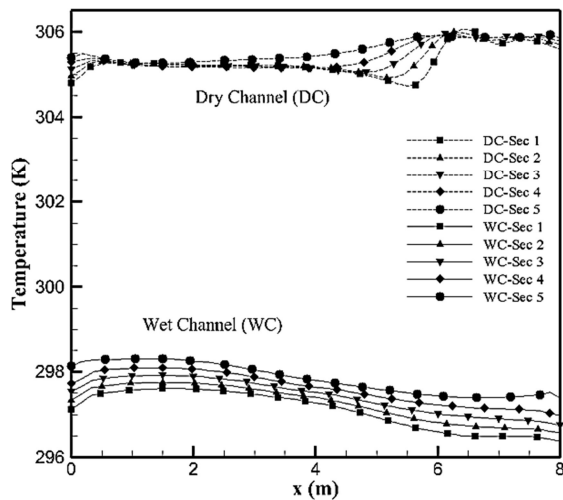


Fig. 5 Temperature distribution on horizontal sections. Comparison of dry and wet channels

شکل 5 توزیع دما روی مقطع‌های افقی. مقایسه کانال‌های خشک و مرطوب

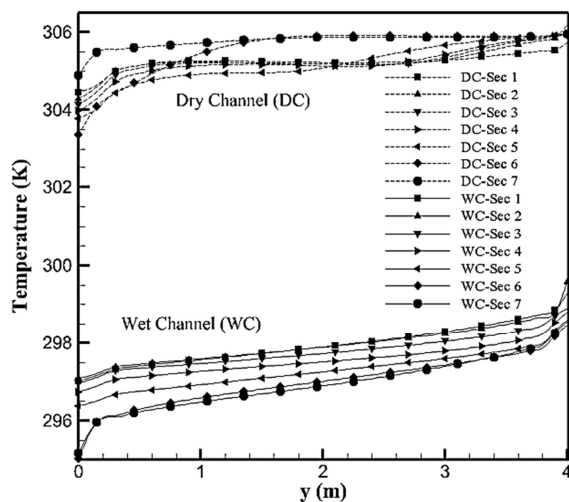


Fig. 6 Temperature distribution on vertical sections. Comparison of dry and wet channels

شکل 6 توزیع دما روی مقطع‌های عمودی. مقایسه کانال‌های خشک و مرطوب

همچنین، پارامتر مهم دیگری که نباید از دید مهندسی دور بماند، نرخ مصرف آب در حالت کانال مرطوب است. به این منظور نرخ جریان جرم<sup>1</sup> ورودی و خروجی کانال محاسبه و مقایسه شده‌اند که تفاضل این دو بیانگر مقدار آب تبخیر شده از کف کانال و وارد شده به هوا است. در حالت پایا نرخ آب وارد شده به اتاق 0.005 kg/s اندازه‌گیری شده که برابر با مصرف آب است.

جدول 1 دمای میانگین روی مقاطع افقی و عمودی

Table 1 Average temperature on the horizontal and vertical sections

| شماره مقطع | مقطع‌های افقی        |                        | مقطع‌های عمودی       |                        |
|------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
|            | دما با کانال خشک (K) | دما با کانال مرطوب (K) | دما با کانال خشک (K) | دما با کانال مرطوب (K) |
| 1          | 305.3                | 297.1                  | 305.2                | 297.9                  |
| 2          | 305.3                | 297.2                  | 305.2                | 297.9                  |
| 3          | 305.4                | 297.4                  | 305.2                | 297.8                  |
| 4          | 305.4                | 297.6                  | 305.2                | 297.6                  |
| 5          | 305.5                | 297.8                  | 305.2                | 297.3                  |
| 6          | -----                | -----                  | 305.6                | 297.0                  |
| 7          | -----                | -----                  | 305.8                | 297.0                  |

<sup>1</sup> Mass flow rate

با توجه به حل تحلیلی فرآیند اشباع بی‌دررو [10] که با عبور جریان هوا روی آب در کانال است انجام گرفته است. برای این کار، کانالی مجزا تولید شده و جریانی از یک مخلوط با فشار 0.1 MPa و دمای 303°K و با رطوبت نسبی 0.398 وارد یک اشباع کننده بی‌دررو می‌شود و با فشار 0.1 MPa خارج می‌گردد. حل تحلیلی دمای خروجی 293°k و حل عددی 292.9°k را نتیجه داده که نزدیکی قابل قبولی میان نتایج وجود دارد.

#### 2-4- نتایج

همان‌طور که از اهداف این کار مشخص است، کاهش محسوس دمای هوای ورودی تا محدوده آسایش قبل از رسیدن به داخل اتاق امری مهم است. لذا با توجه به این‌که این کار دو ایده برای کاهش دما دنبال می‌کند، برای هر دو حالت دمای چند ناحیه داخل اتاق آورده و با هم مقایسه شده‌اند. "شکل 4" خطوط جریان را در محیط، کانال و داخل اتاق و موقعیت گردابه‌ها را نشان می‌دهد. در "شکل 5" دما روی پنج مقطع افقی با فواصل عمودی 0.4 یکدیگر و در حد فاصل 1 متر از کف و سقف رسم شده است. علاوه بر این، هفت مقطع عمودی بین فاصله 1 متر از دیوارهای چپ و راست و با فاصله 1 متر از یکدیگر در نظر گرفته شده که این مقاطع روی "شکل 2" با نقطه چین نشان داده شده‌اند و توزیع دما روی آن‌ها در "شکل 6" نشان داده شده است. با دقت به "شکل‌های 5 و 6" مشاهده می‌شود که اختلاف زیادی بین دماهای حالت کانال خشک و مرطوب وجود دارد. بنا بر "شکل 5"، با حرکت از پایین به بالا در داخل اتاق دما افزایش می‌یابد که به خصوص با کانال مرطوب این تغییرات محسوس‌تر است و طبق "شکل 6" با حرکت از چپ به راست اتاق تغییرات این‌گونه نیست و با نزدیک شده به ورودی هوای اتاق، دما کاهش یافته و نزدیک به گوشه‌ها به خاطر جریان هوای کمتر دما بالاتر است و در تمام حالات نزدیک به ورودی کانال داخل اتاق، شاهد افت دما هستیم. در جدول 1 بررسی دمای میانگین روی این مقاطع آورده شده است. در این‌جا مقاطع افقی از پایین به بالا، 1 تا 5 و برای مقاطع عمودی از چپ به راست، 1 تا 7 شماره‌گذاری شده‌اند. بنابر اطلاعات جدول 1، مشاهده می‌کنیم که دمای میانگین روی هر مقطع در هر حالت با اختلاف کمی نزدیک به هم هستند.

همچنین با توجه به دمای اولیه اتاق و جدول 1، با کانال خشک حدود 8 درجه و با کانال مرطوب حدود 16 درجه دما کاهش یافته که بسیار قابل توجه است. اعداد نشان می‌دهند که استفاده از کانال مرطوب حدود 8 درجه کاهش دمای بیشتر در مقایسه با کانال خشک نتیجه می‌دهد.

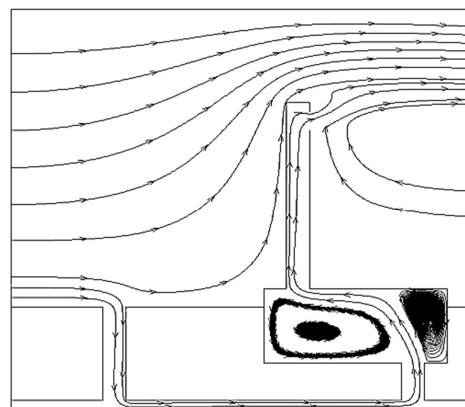


Fig. 4 Stream lines

شکل 4 خطوط جریان

## 5- نتیجه‌گیری

با توجه به آنچه که بررسی شد، استفاده از بادگیر به همراه کانال درون‌زمینی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش دمای هوای ورودی به داخل ساختمان داشته باشد که برای کاهش دمای بیشتر، که در این‌جا حدود 7 درجه تفاوت دیده شده است، می‌توان از کانال مرطوب استفاده کرد. این ایده می‌تواند همراه با استفاده از بادگیر در ساختمان‌ها اجرایی شود، به‌صورتی که دهانه کانال در جایی خارج از ساختمان مکان‌یابی گردد و با بهره‌گیری از دمای پایین زیر سطح زمین و همچنین هدایت آب به‌صورت قنات یا نهر یا اضافه کردن به شکل دستی، علاوه بر استفاده از انرژی باد و دمای پایین خاک زیر سطح زمین به اندازه قابل توجهی در مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، مثل الکتریسیته، در سرمایش ساختمان صرفه‌جویی به عمل آورد.

## 6- فهرست علائم

|           |                              |
|-----------|------------------------------|
| $E$       | گرمای ویژه (J/gK)            |
| $\vec{F}$ | بردار نیرو (N)               |
| $\vec{g}$ | بردار شتاب گرانش ( $m/s^2$ ) |
| $k_{eff}$ | رسانش حرارتی مؤثر (W/mK)     |
| $P$       | فشار ( $kgm^{-1}s^{-2}$ )    |
| $S$       | ترم منبع                     |
| $T$       | دما (K)                      |
| $\vec{v}$ | بردار سرعت ( $ms^{-1}$ )     |

## علائم یونانی

|          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| $\alpha$ | کسر حجمی                           |
| $\mu$    | لزجت دینامیکی ( $kgm^{-1}s^{-1}$ ) |
| $\rho$   | چگالی ( $kgm^{-3}$ )               |
| $\mu$    | لزجت دینامیکی ( $kgm^{-1}s^{-1}$ ) |

## زیرنویس‌ها

|     |         |
|-----|---------|
| $h$ | حرارت   |
| $m$ | جرم     |
| $q$ | شمارنده |
| $p$ | شمارنده |

## 7- مراجع

- [1] M. N. Bahadori, Passive cooling systems in Iranian architecture, *Scientific American* (United States), Vol. 238, No. 2, 1978.
- [2] M. Yaghoubi, A. Sabzevari, A. Golneshan, Wind towers: measurement and performance, *Solar energy*, Vol. 47, No. 2, pp. 97-106, 1991.
- [3] D. Pearlmutter, E. Erell, Y. Etzion, I. Meir, H. Di, Refining the use of evaporation in an experimental down-draft cool tower, *Energy and buildings*, Vol. 23, No. 3, pp. 191-197, 1996.
- [4] A. A. Badran, Performance of cool towers under various climates in Jordan, *Energy and Buildings*, Vol. 35, No. 10, pp. 1031-1035, 2003.
- [5] W. A. Cunningham, T. L. Thompson, Passive greenhouse cooling with natural draft cooling towers in combination with solar chimneys, *Proceedings of the... National Agricultural Plastics Congress (USA)*, 1987.
- [6] H. Nouanégue, L. Alandji, E. Bilgen, Numerical study of solar-wind tower systems for ventilation of dwellings, *Renewable Energy*, Vol. 33, No. 3, pp. 434-443, 2008.
- [7] B. R. Hughes, S. A. Ghani, A numerical investigation into the effect of Windvent louvre external angle on passive stack ventilation performance, *Building and Environment*, Vol. 45, No. 4, pp. 1025-1036, 2010.
- [8] V. Kalantar, Numerical simulation of cooling performance of wind tower (Baud-Geer) in hot and arid region, *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 1, pp. 246-254, 2009.
- [9] F. Mojarad, H. Sadeghi, Assessing the Relationship between Ground and Soil Temperature at Different Depths: A Case Study of Kermanshah Province, *Natural geography research*, Vol. 45, No. 1, pp. 101-118, 2013. (in Persian فارسی)
- [10] R. Sonntag, C. Borgnakke, G. Van Wylen, *Fundamentals of Thermodynamics*, 1998, J. Wiley.