مروری بر کارهای تحلیلی و عددی انجام شده در زمینه مبدل‌های حرارتی زمین به هوا و تحلیل‌های اگزرژواکونومیک آن

احد عابدینی[1*]، سعید اسدی[2]

1- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی ، سمنان، ایران
2- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی ، سمنان، ایران
* سمنان، 35145179، a.abedini@semnaniau.ac.ir

چکیده

در سالیان اخیر به‌خصوص سه دهه گذشته مطالعات بسیاری در زمینه مبدل‌های حرارتی زمین به هوا یا لوله‌های زیرزمینی هوا در سرتاسر دنیا توسط پژوهشگران و اساتید دانشگاهی صورت گرفته است. در این مقاله سعی شده با دسته بندی اهم کارهای گذشتگان در سه گروه تحلیلی، عددی و اگزرژواکونومیک و ارایه‌ی یکجا و همزمان آنها به پژوهشگران علاقه‌مند به این موضوع یا کسانی که قصد آشنایی با این دست مبدل‌ها را دارند، مرجعی مناسب جهت آشنایی اولیه و یا ارایه مراجع مناسب جهت مطالعه تخصصی و کامل‌تر، گردآوری شود. فعالیت و پژوهش در این زمینه باعث تغییر نگرش در مصرف انرژی و به طبع آن کاهش آلاینده ها در محیط و همچنین صرفه جویی اقتصادی می‌گردد.

کلیدواژگان

مبدل حرارتی زمین به هوا، اگزرژی، سرمایش غیرفعال، اگزرژواکونومیک

Numerical and Annalytical Review on earth to air heat exchanger and Exergoeconomic Analysis

Ahad Abedini[1*], Saeed Asadi[2]

1- Strategic Center for Energy and Sustainable Development, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
* P.O.B. 35145-179 Semnan, Iran, ahad_abedini@yahoo.com

Abstract

In recent years, especially the last three decades, many studies have been done on earth to air heat exchangers or air underground pipes worldwide by researchers and professors.In this article we have tried to work with the most important markets in the past three analytical, numerical and exergoeconomic and offering them all at once and researchers interested in the subject or those who want to be familiar with the exchangers. Appropriate references to specialized and more complete study, to be collected. Research in this field of activity and a change in attitude on energy consumption and consequently reduce pollutants, as well as saving the economy.

Keywords

Earth to air heat exchanger, Exergy, Passive cooling, Exergoeconomicl

1- مقدمه

در سال 1997، کیوتوی ژاپن میزبان شرکت‌کنندگان سمینار بین‌المللی تغییرات آب‌وهوا بود. جمع‌بندی سمینار، وظیفه‌ای را برای کشورهای دنیا معین می‌کرد و آن این بود که هیچ کشور توسعه یافته و یا در حال توسعه‌ای نباید به تخریب‌های محیط زیستی ناشی از استفاده‌ی نادرست از انرژی‌های تجدیدناپذیر بی‌توجه باشد و موظف به رعایت اصولی است که سلامت محیط زیست را حفظ کند. تغییرات آب و هوایی، گرم شدن کره‌ی زمین، پارگی لایه‌ی اُزُن و ریزش باران‌های اسیدی، همگی ناشی از عدم صرفه‌جویی و استفاده‌ی بهینه از انرژی‌های تجدیدناپذیر و تولید بی‌رویه‌ی گاز کربن‌دی-اکسید هستند.

واقعیت انکار ناپذیر فوق، سبب می‌شود جامعه‌ی بشری خود را موظف بداند تا به فکر راهکارهایی برای دستیابی به اهداف سمینار کیوتو باشد. بحث، تنها حفظ بنیان‌های اقتصادی نیست، اگرچه در جای خود بسیار مهم هستند. بحث مهم، حفاظت سلامت محیط زیست برای نسل حاضر و نسل آینده است. متاسفانه، نگاه به عملکرد مصرف انرژی در کشور ایران و سایر کشورهای در-حال‌توسعه، موید بی‌توجهی‌های بسیار است. به طور مثال، کاربرد سامانه‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌ها، به‌ویژه ساختمان‌های اداری، رو به افزایش است. واقعیت آن است که اینگونه تجهیزات، برای ایجاد شرایط آسایش حرارتی در ساختمان‌ها، انرژی زیادی مصرف می‌کنند که متاسفانه این مشکل مصادف با زمانی است که انرژی الکتریکی در حداکثر میزان ظرفیتی خود در حال مصرف است. در مناطقی از جهان که دمای هوا در روزهای گرم تابستان بسیار بالا است، ایجاد شرایط آسایش حرارتی به کمک وسایل تهویه مطبوع، بسیار پرهزینه است و نتیجه‌ی چندان مطلوبی نیز نخواهد داشت. کمپل [1] در تحقیقات خود که در سال 1988 و در شهر ریاض انجام داد، دریافت که 59 درصد انرژی الکتریکی مصرفی، صرف تولید بار برودتی مورد نیاز ساختمان‌ها می‌شود. تحقیقات سعید [2] در سال 1997 در ریاض نشان داد که 37 درصد انرژی الکتریکی تولیدی در سال، صرف سرمایش ساختمان‌ها در فصول گرم سال می‌گردد. اگر به صورت علمی حجم سود و زیان استفاده از این وسایل را با نفع جزیی آنها مقایسه کنیم، بی‌تردید هیچ فردی استفاده از این تجهیزات را به دیگری توصیه نخواهدکرد. یکی از رهاوردهای تکنولوژی جدید، فرآهم آوردن شرایط آسایش حرارتی در ساختمان‌هایی است که بی‌توجه به شرایط آب و هوایی احداث می‌شوند. امروزه در اکثر کشورهای جهان، سامانه‌های

تهویه مطبوع با توجه به ضرورت استفاده از آنها، به عنوان معیاری جهت مرغوبیت و اتقا کیفی بنا، به ویژه در ساختمان‌های اداری و تجاری، مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبق آماری که در سال 1999 و در کشور انگلستان منتشر گردیده‌است، صد در صد ساختمان‌های جدید در آن سال، مشروط به استفاده از سامانه‌های تهویه مطبوع شده بودند. در حالی که در این کشور، حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال یعنی جولای، از 25 درجه سانتیگراد تجاوز نمی‌کند. مصرف انرژی در چنین بناهایی حداقل چهار برابر ساختمان‌های دیگر در یک سال است. مطالعات آماری نشان می‌دهد که انتشار گاز کربن-دی‌اکسید در محیط زیست، به همین نسبت افزایش پیدا کرده و جو زمین را با مشکلی جدی مواجه ساخته است. افزایش 20 درصدی فروش سامانه‌های تهویه مطبوع در سه کشور یونان، اسپانیا و ایتالیا نسبت به سال 1999، نشان دیگری از عدم توجه به شاخص‌های زیست-محیطی و حفظ منابع اقتصادی در جهان است. لازم به ذکر است که هزینه‌ی تعمیرات این تجهیزات در طی 10 سال، با منظور نمودن متوسط نرخ تورم، برابر با قیمت خرید و نصب آنها در زمان احداث بنا برابر است. از طرف دیگر، ساختمان‌هایی که دارای سامانه-های تهویه مطبوع هستند، دچار آسیب‌های ناشی از رطوبت نیز می‌باشند. مشکلی که از مشکلات فوق اهمیت بیشتری دارد، مصرف بالای انرژی الکتریکی در این تجهیزات به طور ویژه در زمان ماکسیمم مصرف انرژی الکتریکی است. وقتی که در معرض حداکثر دما در ماه‌های گرم سال یا ساعات گرم روز هستیم، در همان شرایط نیاز به تولید انرژی الکتریکی بالاتر است که امکانات طبیعی و جوی معمولا آن را میسر نمی‌سازد و ذخیره‌ها را مورد تهدید قرار می‌دهد. چگونه مهندسین و کارشناسان ساختمانی، به این مهم توجه ندارند؟

عدم توجه به مصلحت‌های ملی، عدم توجه به محیط زیست، عدم توجه به نسل آینده و فریب بازار جهانی، باعث استمرار استفاده‌ی گسترده از چنین سامانه‌هایی شده‌است. بی‌تردید، مناطقی با شرایط آب هوایی خاص وجود دارند که نیازمند سامانه‌های تهویه مطبوع هستند. پیش از به‌کارگیری چنین سامانه‌هایی ابتدا باید این مناطق را مشخص نمود و اطمینان حاصل کرد که آیا به چنین تجهیزاتی نیاز هست یا نه؟ میزان این نیاز تا چه اندازه است و آیا با تمهیدات دیگر یا استفاده از سامانه‌های مناسب و کم‌مصرف می‌توان مشکل را حل نمود؟ اگر ساختمان‌ها خوب طراحی نشوند و نتوانند پاسخ مناسبی به شرایط آب‌وهوایی بدهند، تقاضا برای سامانه‌های تهویه مطبوع روزبه‌روز افزون‌تر خواهد شد. کومار [3] نقش معماری مناسب ساختمان‌ها بر میزان برودت و حرارت مورد نیاز و همچنین بهبود شرایط آسایش را، مورد بررسی قرار داد. وی نشان داد که اگر ساختمان‌ها متناسب با شرایط آب و هوایی به خوبی طراحی شوند، تقاضا برای سامانه‌های تهویه مطبوع مکانیکی کاهش خواهد یافت. یکی از روش‌هایی که به کمک آن می‌توان نیاز به سامانه‌های تهویه مطبوع مکانیکی را کاهش داد، استفاده از سامانه‌های تهویه‌ی طبیعی است. به عنوان مثال، در تونس و شرق اسپانیا به دلیل اقلیم گرم و بیابانی این مناطق، خانه‌های زیرزمینی ساخته می‌شد. در شمال چین برای رهایی از سرمای سخت و طاقت‌فرسای زمستان، خانه‌های بزرگی در زیر زمین ساخته می‌شد. در مناطقی که برای حفاری مناسب نبود، معماران باستان، از روشها و تکنیک‌های دیگری جهت تامین شرایط آسایش سود می‌جستند. بادگیرهای معروف عربستان سعودی، پاکستان و ایران، مثال‌های خوبی از این تکنیک‌ها هستند[4].

همانطور که گفته شد ایده استفاده از زمین به عنوان چاه حرارتی یا لوله‌های زیر زمینی[1] به سالهای بسیار دور بازمی‌گردد، ولی استفاده از مبدل حرارتی زمین به هوا[2] در کشورهای توسعه یافته آغاز شده است چون این سیستم از راندمان حرارتی بالاتری نسبت به سیستم‌های صرفا جابجایی برخوردار است[۵]. در این گزارش به بررسی کارهای انجام شده پرداخته می‌شود به تفکیک سه بخش زیر:

1. کارهای تحلیلی انجام شده
2. کارهای عددی انجام شده
3. تحلیل‌های اگزرژواکونومیک[3] (تحلیل اقتصادی و اگزرژیک)

ابتدا قبل از بررسی باید به اهمیت استفاده از مبدل حرارتی هوا به زمین پرداخته شود. این سیستم برتری‌هایی نسبت به دیگر سیستم‌های هوا به زمین دارد، ازجمله [10-6]:

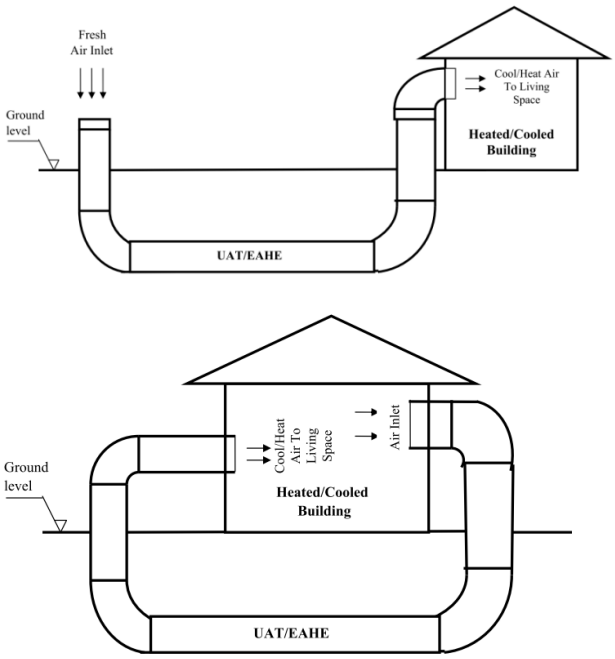
- مصرف پایین انرژی
- کاهش آلودگی هوا به دلیل آلایندگی بسیار ناچیز
- عدم استفاده از مبردها
- استفاده از هوا به عنوان سیال عامل
- طراحی ساده و به طبع آن هزینه پایین تعمیر و نگه‌داری
- بدون نیاز به تجهیزات اضافی درون فضای موزد نیاز

و البته معایب این سیستم [10-6]:

- هزینه اولیه بالا به دلیل نیاز به کندن و دفن کردن لوله یا کانال‌های مبدل در عمق زمین (ولی بعد از نصب هزینه دیگری نداشته و در میانگین سالیانه مقرون به صرفه‌تر می‌باشد)
- در صورت استفاده از فن برای جابجایی هوا، صدای فن از طریق لوله‌ها به درون فضا منتقل می‌شود.
- در مناطق بسیار مرطوب و شرجی امکان چگالش آب در لوله‌ها و کاهش راندمان آن وجود دارد که با استفاده از پمپ تخلیه این مشکل مرتفع می‌گردد ولی در ازازی مصرف انرژی
- در سیکل‌های بسته کیفیت هوا به تدریج رو کاهش می‌رود و نیاز به استفاده از فیلتر می‌باشد.

دوگونه‌ی سیستم باز و بسته را در شکل 1 مشاهده می‌کنید.

[1] .Underground air tubes(UAT)
[2] .Earth to air heat exchanger(EAHE)
[3] .Exergoeconomic



شکل 1 طرح شماتیک سیستم باز و بسته

2- کارهای تحلیلی انجام شده

تزافریس و لیپاراکیس در سال 1992 هشت الگوریتمی را که تا آن زمان برای پیش‌بینی راندمان کانال‌های زیرزمینی هوا پیشنهاد شده‌بود، بررسی نمودند. در این تحقیق، حساسیت هر یک از مدل‌ها به درجه حرارت هوای ورودی، سرعت هوا، طول، قطر و عمق تعبیه سامانه بررسی شد و با مقایسه نتایج تجربی و نتایج حاصل از مدل‌های مورد استفاده، دقت هر یک از مدل‌ها برآورد گردید [11].

کراتی و کریدر در سال 1995 از مدل تحلیلی ساده‌ای جهت تعیین راندمان و پتانسیل حرارتی کانال‌های هوای زیرزمینی استفاده نمودند. این مدل تنها می‌توانست تغییرات درجه حرارت هوای خروجی از کانال در طول یک شبانه‌روز را پیش‌بینی کند. در این بررسی به منظور تعیین اثر قطر هیدرولیکی و نرخ جریان هوا بر میزان انتقال حرارت، از تحلیل پارامتریک استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که افزایش قطر هیدرولیکی در مقایسه با افزایش سرعت هوا به مراتب به نتیجه بهتری منجر خواهد شد [12].

چانگ و همکاران در سال 1999 انتقال حرارت از لوله‌های مدفون زیرزمینی را با فرض ثابت بودن درجه حرارت دیواره لوله‌ها، با مدلی تحلیلی بررسی نمودند. در این بررسی با استفاده از روش مپینگ[1]، مسئله مربوط به لوله های با مقطع دایروی در محیط نامحدود، به مسئله‌ای در فضای مستطیلی و محدود تبدیل شد. به این ترتیب، با حل عددی معادله دیفرانسیل حاکم، توزیع درجه حرارت در خاک اطراف کانال و درجه حرارت هوای خروجی از آن بدست آمد [13].

پاپ و جانسنس در سال 2003 با استفاده از روش تحلیلی و با تقریب یک‌بعدی و با استفاده از روش ε-NTU به بررسی پارامترهای مؤثر در طراحی ترمو-هیدرولیکی کانال زیرزمینی پرداختند و با استفاده از این روش توانستند نمودارهایی جهت طراحی کانال زیرزمینی تهیه کنند [14].

کوکومو و همکاران در سال 2008 به ارائه یک روش تحلیلی و گذرا با تقریب یک‌بعدی برای کانال زیرزمینی با احتساب پدیده چگالش[2] پرداختند [15].

3- کارهای عددی انجام شده

العجمی و همکاران در سال 2006 بکمک نرم‌افزار ترنسیس به شبیه‌سازی یک ساختمان مسکونی در اقلیم گرم وخشک کشور کویت پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که علی‌رغم اینکه با استفاده تنها از کانال زیرزمینی نمی‌توان آسایش حرارتی را فراهم کرد ولی می‌توان با استفاده از کانال زیرزمینی جهت پیش‌سرمایش هوا، مصرف انرژی ساختمان مذکور را در طی فصل گرما حدود 30 درصد کاهش داد [16].

ژانگ و حقیقت در سال 2009 جهت بررسی رفتار حرارتی یک کانال زیرزمینی با مقطع مستطیل، از تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی استفاده نمودند. نتایج بحث و بررسی پارامتریک آن‌ها نشان می‌داد که تغییرات درجه حرارت سطح کانال، شدت توربولانس جریان هوا در ورودی و اندازه خروجی، اثر چندانی بر عدد ناسلت جریان ندارند [17].

بانسال و همکاران در سال 2009 با استفاده از مطالعه پارامتریک، استفاده از کانال زیرزمینی هوا به منظور کاهش بار حرارتی مورد نیاز ساختمان در فصل زمستان را بررسی نمودند. در این تحقیق جهت محاسبه راندمان سامانه مذکور، از مدلی عددی و گذرا استفاده شد و اثر پارامترهایی نظیر جنس لوله و سرعت هوا بر عملکرد سامانه، بررسی گردید و آن‌ها گزارش کردند که جنس کانال تاثیر مهمی بر عملکرد حرارتی آن نداشته و می‌توان از کانال‌هایی با هزینه‌های پایین‌تر استفاده کرد [18].

چل و تیواری در سال 2009 عملکرد سامانه‌ای متشکل از کانال زیرزمینی هوا و سقف گنبدی شکل را در تهویه فضای داخل یک ساختمان به صورت عددی و تجربی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که در صورت استفاده از سامانه مذکور، درجه حرارت هوای داخل ساختمان در طول تابستان و زمستان به ترتیب حدود 5 تا 15 درجه کمتر و بیشتر از درجه حرارت محیط بیرون خواهدبود [19].

خواکیم و همکاران در سال 2011 به بررسی عددی و تجربی استفاده از یک سامانه کانال زیرزمینی هوا جهت تهویه یک فضای 55 متر مکعبی پرداختند. آن‌ها از روش سه‌بعدی برای شبیه‌سازی کانال زیرزمینی استفاده کردند و نتایج عددی را با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت بدست آوردند. نتایج آن-ها حاکی از سرمایش هوا در تابستان تا 4 درجه و گرمایش هوا در زمستان تا 8 درجه بود [20].

آسکیونه و همکاران در سال 2011 به مطالعه تأثیر استفاده از کانال زیرزمینی هوا در سه اقلیم مختلف در کشور ایتالیا پرداختند. برای شرایط تابستان، آن‌ها بهترین عملکرد حرارتی را برای خاک مرطوب و برای اقلیم سرد شهر میلان[3] بدست آوردند. آن‌ها همچنین گزارش کردند که کانال زیرزمینی هوا را نباید برای طول‌های کمتر از 10 متر و بیشتر از 50 متر بکار برد و عمق مناسب دفن کانال را حدود 3 متر گزارش کردند [21].

بانسال و همکاران در سال 2013 یک پارامتر جدید برای توصیف هرچه بهتر کارآیی کانال زیرزمینی هوا تعریف کردند و به وسیله آن به بررسی

[1] .mapping

[2] .Condensation

1. Milan

عملکرد حرارتی یک کانال زیرزمینی که در کشور هند موجود بود، توسط نرم‌افزار تجاری فلوئنت پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که هر چقدر از زمان شروع به کار این سامانه بگذرد، راندمان حرارتی آن کاهش می‌یابد [22].

4- تحلیل‌های اگزرژواکونومیک

در این بخش به بررسی کارهایی پرداخته می‌شود که تحلیل اگزرژی و اقتصادی بر روی سیستم‌های دارای مبدل حرارتی زمین به هوا انجام داده‌اند. مبدل حرارتی زمین به هوا به خودی خود مصرف انرژی ندارد، ولی زمانی که از تجهیزات کمکی برای بالا بردن راندمان که خود مصرف انرژی دارند مانند فن برای بیشتر کردن سرعت جریان هوا، گرم‌کن برقی برای گرمایش بیشتر یا انواع سرماسازها استفاده شود میتوان به بررسی اگزرژی پرداخت.

4-1- روابط ریاضی مورد نیاز این بخش

ابتدا برخی از روابط استفاده شده برای درک بهتر نوع تحلیل به طور مختصر بیان می‌شود[۲۵-۲۲].

معادله کلی بالانس اگزرژی:

$$\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out} = \dot{E}x_{dest} \qquad (۱)$$

فرم باز شده معادله بالانس اگزرژی:

$$\dot{E}x_{heat} - \dot{E}x_{work} + \dot{E}x_{mass,in} - \dot{E}x_{mass,out} = \dot{E}x_{dest} \qquad (2)$$

حال اگر انتقال حرارت در مقطع k ام و میزان کار را در معادله (2) باز کنیم به معادله (3) دست می‌یابیم:

$$\sum\left(1-\frac{T_o}{T_k}\right)\dot{Q}_k - \dot{W} + \sum \dot{m}_{in}\,\psi_{in} - \sum \dot{m}_{out}\,\psi_{out} = \dot{E}x_{dest} \qquad (3)$$

بازگشت ناپذیری یا اگزرژی تلف شده:

$$\dot{I} = \dot{E}x_{dest} = T_0\dot{S}_{gen} \qquad (4)$$

این نوع تحلیل کمک می‌کند تا مشخص شود کدام بخش سیستم بیشترین سهم را در اگزرژی تلف شده یا به عبارت دیگر کاهش راندمان کل سیستم دارد.

حال در ادامه چند معادله مختلف برای محاسبه راندمان اگزرژتیک را بررسی می‌کنیم.

$$\varepsilon_1 = \frac{\dot{E}x_{out}}{\dot{E}x_{in}} = 1 - \frac{\dot{E}x_{dest}}{\dot{E}x_{in}} \qquad (5)$$

$$\varepsilon_{2,R} = \frac{\dot{E}x_{desired,output}}{\dot{E}x_{used}} \qquad (6)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{COP_{C,h}}{COP_{act,h}} \qquad (7)$$

که در آن داریم:

$$COP_{C,h} = \frac{T_H}{T_H - T_L} \qquad (8)$$

معادله (8) حداکثر ضریب عملکرد برای سیستم ایده‌آلی است که بین دمای پایین T_L و دمای بالای T_H کار می‌کند.

4-2- کارهای انجام شده در زمینه تحلیل اگزرژی

اوزگنر و اوزگنر در سال 2010 تحلیل اگزرژی را برای یک مبدل حرارتی زمین به هوا انجام داده و آن را بر روی نمونه‌ی واقعی در دانشگاه انرژی خورشیدی ازمیر در ترکیه اعمال کردند. راندمان‌های اگزرژیک را نیز به طور مستقل برای هر جز محاسبه کردند. آنها گزارش دادند که ماکزیمم ضریب عملکرد حرارتی روزانه برای سیستم برابر 6,18 و میانگین آن برابر 4,74 بوده است[23].

آنها در همان سال پژوهش دیگری برروی اعمال مبدل حرارتی زمین به هوا برای سرمایش یک گلخانه انجام دادند و تحت شرایط عملکردی متفاوت تحلیل اگزرژواکونومیک را انجام دادند و نشان دادند که میزان کل اتلاف اگزرژی برای سیستم برابر 0,26 کیلووات تا 2,5 کیلووات است. حداکثر ضریب عملکرد گزارش شده نیز 11,96 و میانگین آن 5,89 است. همچنین راندمان اگزرژی کلی بر پایه (محصول بر سوخت) برابر 56,9 درصد می‌باشد[24].

نتایج به دست آمده برای گرمایش همان گلخانه موضوع تحقیق دیگر اوزگنر و اوزگنر در سال 2010 بود. زمانی که حداقل شرایط محیط دمای 13,1 درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی 32 درصد بوده ماکزیمم ضریب عملکرد محاسبه شده 6,42 و میانگین آن 5,16 اعلام شده است[25].

در سال 2011 اوزگنر و اوزگنر طراحی بهینه یک سیستم بسته مبدل حرارتی زمین به هوا را با تحلیل اگزرژواکونومیک ارایه کردند[۲۶].

ایلدیز و همکاران در سال 2011 در کاری تجربی به بررسی عملکرد اگزرژیک سامانه مبدل حرارتی زمین به هوا مجهز و توسعه یافته با سیستم فتوولتاییک خورشیدی برای سرمایش یک گلخانه پرداختند وگزارش کردند که این سیستم موفق به سرمایش فضای مورد نظر شد. با دمای خارج 15 درجه سانتیگراد راندمان اگزرژیک متوسط برابر 56,3 درصد برای مبدل حرارتی و 4,94 درصد برای سیستم فتوولتاییک محاسبه شده است.همچنین میزان 2,84 کیلووات برابر 31 درصد صرفه جویی در مصرف انرژی حاصل شده است[۲۷].

5- جمع‌بندی

سیستم مبدل حرارتی زمین به هوا توانایی خوبی در سرمایش و گرمایش فضاهای مسکونی و کشاورزی مانند گلخانه‌ها داراست و از طرف دیگر به راحتی برای افزایش راندمان عملکردی و اگزرژیک آن توانایی و قابلیت ترکیب با دیگر سیستم‌های پاک و سبز را داراست. کم مصرف بودن و نداشتن آلایندگی بزرگترین مزیت این سیستم است و تحلیل اگزرژواکونومیک به خوبی نشان داد که استفاده از این سیستم دارای مقرون به صرفه است چه از لحاظ انرژی چه اقتصادی. هدف از نگارش این تحقیق نشان دادن اهمیت

روزافزون مبدل حرارتی زمین به هوا به عنوان یک سیستم سرمایش غیرفعال برای تهویه محیط‌های گوناگون بود.

6- فهرست علائم

COP	ضریب عملکرد حرارتی
E_x	اگزرژی
Q	حرارت
W	کار
T	دما

علائم یونانی

ψ	اگزرژی مخصوص

زیرنویس‌ها

dest	تلف شده
in	وارد شده
out	خارج شده
H	بالا
L	پایین

7- تقدیر و تشکر

از زحمات دکتر رهبر در طی نگارش این متن و همچنین تلاش ایشان در آموزش و راهنمایی اینجانب در بحث ترمودینامیک موضوع و تحلیل اگزرژی تشکر می‌کنم.

8- مراجع

[1] J. Campbel, " Use of Passive Solar Energy in Office", In: O' Sullivan(ed), Passive Solar Energy in Buildings, The Watt Committee on Energy, 1988.
[2] A. S. Saeed, " The Influence of Orientation of Family and Guest Living Rooms on Electric Energy Consumption of Residential Buildings in Riyath", *Architectural Science Review*, Vol. 40, pp. 97-104, 1997.
[3] S. K. Kumar, S. Siaha, N. K. Kumar, " Experimental Investigation of Solar Chimney Assist Bioclimatic Architecture", Energy Conversion and Management, Vol. 39, No.(5-6), pp. 441-444, 1998.
[4] M. N. Bahadori, " An Improved Design of Wind Towers for Natural Ventilation and Passive Cooling", *Solar Energy*،Vol. 35. No. 2, pp. 119-129, 1985.
[5] L. Ozgener, "A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) Systems in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 4483– 4490.
[6] Lienau PJ, Boyd TL, Rogers RL. Ground source heat pump case studies and utility programs. Klamath Falls,OR:*Geo-Heat center*; 1995.p.82.
[7] Lund JW. Ground source (Geothermal) heat pumps. Course on heating with geothermal energy: *conventional and new schemes*, Convener Paul Lienau,WGC 2000Short Courses Kazuno, Thoku District, Japan,8–10 June 2000, p.209–36.
[8] Kavanaugh S, Rafferty K. Ground source heat pumps: design *of geothermal systems for commercial and institutional buildings*. Atlanta, CA: ASHRAE,Inc.; 1997.p.167.
[9] Rafferty K. Specification of water wells. *ASHRAE Transactions* 001;107:487–93.
[10] Rafferty K. Groundwater heat pump systems: experience at two high schools. *ASHRAE Transactions* 1996;102:922–8.
[11] A. Tzaferis, D. Liparakis, " Analysis of the accuracy and sensitivity of eight models predict the performance of Earth-to-Air Heat Exchanger ", *Energy and Buildings*, Vol. 18, pp. 35-43, 1992.
[12] M. Krarti, J. F. Kreider, " Analytical model for heat transfer in an underground air tunnel ", *Energy Conversion and Management*, Vol. 37, No. 10, pp. 1561-1574, 1996.
[13] M. Chung, P. S. Jung, R. H. Rangl, " Semi-analytical solution for heat transfer from a buried pipe with convection on exposed surface ", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 42, pp. 3771-3789, 1999.
[14] M. De paepe, A. Janssens, " Thermo-hydraulic design of Earth-Air Heat Exchangers ", *Energy and Buildings*, Vol. 35, pp. 389-397, 2003.
[15] M. Cucumo, S. Cucumo, L. Montoro, A. Vulcano, " A one-dimensional transient analytical model for earth-to-air heat exchangers, taking into account condensation phenomena and thermal perturbation from the upper free surface as well as around the buried pipes ", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, pp. 508-516, 2008.
[16] F. Al-Ajmi, D.L. Loveday, V.I. Hanby, " The cooling potential of earth–air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate ", *Building and Environment*, Vol. 41, pp. 235-244, 2006.
[17] J. Zhang, F. Haghighat, " Convective heat transfer prediction in large rectangular cross-sectional area Earth-to-Air Heat Exchangers ", *Building and Environment*, Vol. 44, pp. 1892-1898, 2009.
[18] V. Bansal, R. Misra, G. Das Agrawal, J. Mathur, " Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for winter heating ", *Energy and Buildings*, Vol. 41, pp. 1151-1154, 2009.
[19] A. Chel, G. N. Tiwari, " Performance evaluation and life cycle cost analysis of earth to air heat exchanger integrated with adobe building for New Delhi composite climate ", *Energy and Buildings*, Vol. 41, pp. 51-66, 2009.
[20] J. Vaz, M. A. Sattler, E. D. dos Santos, L. A. Isoldi, " Experimental and numerical analysis of an earth–air heat exchanger ", *Energy and Buildings*, Vol. 43, pp. 2476-2482, 2011.
[21] F. Ascione, L. Bellia, F. Minichiello, " Earth-to-air heat exchangers for Italian climates ", *Renewable Energy*, Vol. 36, pp. 2177-2188, 2011.
[22] V. Bansal, R. Misra, G. Das Agarwal, J. Mathur, " 'Derating Factor' new concept for evaluating thermal performance of earth air tunnel heat exchanger: A transient CFD analysis ", *Applied Energy*, Vol. 102, pp. 418-426, 2013.
[23] O. Ozgener, L. Ozgener, "Exergetic assessment of EAHEs for building heating in Turkey: A greenhouse case study "*Energy Policy* 38 (2010) 5141–5150.
[24] O. Ozgener, L. Ozgener, "Exergoeconomic analysis of an underground air tunnel system for greenhouse cooling system " , *international journal of refrigeration* 33 (2010)995 – 1005.
[25] O. Ozgener, L. Ozgener, "Energetic performance test of an underground air tunnel system for greenhouse heating ", *Energy* 35 (2010) 4079-4085.
[26] O. Ozgener, L. Ozgener, " Determining the optimal design of a closed loop earth to air heat exchanger for greenhouse heating by using exergoeconomics " , *Energy and Buildings* 43 (2011) 960–965.
[27] A. Yildiz, O. Ozgener, L. Ozgener, "Exergetic performance assessment of solar photovoltaic cell (PV) assisted earth to air heat exchanger (EAHE) system for solar greenhouse cooling ",*Energy and Buildings* 43 (2011) 3154–3160.