دریافت: ۲۰ دی ۹۵ پذیرش: ۲۵ اسفند ۹۵

مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه هواگرمکن های خورشیدی

میکائیل فراتی [۱]، علی حیدری*[۲]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
۲- *استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
* سمنان، صندوق پستی ۱۷۹-۳۵۱۴۵، a.Heydari@semnaniau.ac.ir

چکیده

به دنبال کاهش منابع انرژی ،تلاش‌های بسیاری به‌منظور بهینه‌سازی فرایندهای حرارتی در سراسر دنیا در حال انجام می‌باشد. انرژی خورشید به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدید پذیر درروی زمین بوده، که با فناوری ساده، سبب کاهش آلودگی هوا و محیط‌زیست و از همه مهم‌تر ذخیره شدن سوخت‌های فسیلی برای آینده می شود. یکی از موارد کاربرد انرژی خورشید گرمایش هوا بوده که بر این اساس هواگرمکن های مختلف با عملکردهای متفاوت طراحی می شوند. به منظور بررسی عملکرد سیستم‌های انرژی، تحلیل قوانین اول و دوم ترمودینامیک نسبت به تحلیل انرژی می‌تواند مفیدتر باشد چراکه دید و پیشینه بهتری نسبت به فرایندهای انجام شده درون سیستم می‌دهد. برای تحلیل قوانین اول و دوم ترمودینامیک اکسرژی یک مفهوم کلیدی بشمار می‌آید. اکسرژی یک حالت خاص از مفهوم اساسی‌تر انرژی دسترس‌پذیر می‌باشد. هوا گرم‌کن‌های خورشیدی را می‌توان بر اساس سیکل عملکرد آن به دودسته فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی کرد. در سیستم‌های غیرفعال عمدتاً جریان هوا به‌صورت طبیعی و بر اساس اختلاف وزن مخصوص هوای گرم با هوای سرد به چرخش می‌افتد. اما در سیستم‌های فعال جریان هوا توسط نیرومحرکه خارجی (مثل فن) صورت می‌پذیرد.

کلیدواژگان

هواگرم کن خورشیدی، اکسرژی، هیبرید ، کلکتور ، سلول‌های خورشیدی

Literature Review carried out in the field of solar Air heater

Mikaeil Forati[1], Ali Heydary*[2]

1-mechanical engineering graduate, Department of Mechanical Engineering, Semnan Unit, Islamic Azad University, Semnan, Iran
2-*Energy and Sustainable Development Research Center, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
*P.O.B. 35145-179, Semnan, Iran, A.Heydari @semnaniau.ac.ir

Abstract

To reduce energy sources, efforts are underway to optimize thermal processes around the world. Solar energy as an important source of renewable energy on Earth, with simple technology cause reduction in air pollution and saving the environment with less fossil fuels consumption for the future. One application of the solar energy is solar air heaters which different design is done for different application. To ensure the performance of energy systems, analysis of first and second laws of thermodynamics can be more useful to analyze processes undertaken within the system. Exergy is considered as a key concept and it is a fundamental concept of accessible energy. Solar air heaters can be based on its performance cycle was divided into two categories: active and passive. In passive systems mainly based on the difference in specific gravity of air, naturally flow of warm and cold air is formed. But in activated systems a forced convective air flow is derived with external component like fan.

Keywords

Air heater solar , Exergy, Hybrid, Commutator,Photovoltaic Cells

۱- مقدمه

به دنبال کاهش منابع انرژی، تلاش‌های بسیاری به‌منظور بهینه‌سازی فرایندهای حرارتی (هواگرمکن هیبریدی وسیله‌ای است که از ادغام دو یا چند انرژی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم که به سیستم انتقال انرژی وابسته هستند) در سراسر دنیا در حال انجام می‌باشد و به‌منظور بررسی عملکرد این سیستم‌های انرژی، تحلیل قوانین اول و دوم ترمودینامیک نسبت به تحلیل انرژی می‌تواند مفیدتر باشد چراکه دید و بیشینه بهتری نسبت به فرایندهای انجام‌شده درون سیستم می‌دهد.

برای تحلیل قوانین اول و دوم ترمودینامیک اکسرژی یک مفهوم کلیدی بشمار می‌آید. اکسرژی[1] یک حالت خاص از مفهوم اساسی‌تر انرژی دسترس‌پذیر می‌باشد. هوا گرم‌کن‌های خورشیدی را می‌توان بر اساس سیکل عملکرد آن به دودسته فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی کرد. در سیستم‌های غیرفعال عمدتاً جریان هوا به‌صورت طبیعی و بر اساس اختلاف وزن مخصوص هوای گرم با هوای سرد به چرخش می‌افتد؛ اما در سیستم‌های فعال جریان هوا توسط نیرومحرکه خارجی (مثل فن) صورت می‌پذیرد؛ اما وجود سیستم طبیعی ضرورتاً با حذف سیستم مکانیکی همراه نیست، بلکه ترکیب این دو سیستم (هیبرید[2]) باعث می‌شود در روزهای ابری که سیستم طبیعی پاسخ گوی نیاز گرمایشی نمی‌باشد، با استفاده از سیستم کمکی (استفاده از سوخت یا الکتریسیته) شرایط آسایش ساکنین فراهم گردد. با استفاده از این سیستم (هیبریدی) می‌توان میزان مصرف انرژی فسیلی و یا الکتریسیته را در سایر ایام به حداقل کاهش داد و همچنین باعث کاهش هزینه‌های مصرف انرژی می‌شود. در بدو پیدایش اولین حیات درروی زمین انرژی خورشیدی در پدیده فتوسنتز کاربرد داشته است. استفاده صنعتی و مدرن انرژی خورشیدی از سال ۱۷۷۰ میلادی شروع شد. در سال ۱۹۸۲ اولین واحد خورشیدی جهت

1 .Exergy

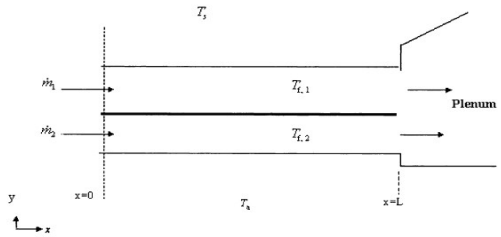
2. Hybrid

نمک‌زدایی آب دریا در شمال شیلی ساخته شد. در اوایل سال ۱۹۰۰ تعدادی متمرکز کننده خورشیدی جهت دستیابی به دماهای بالا و تولید بار در فرانسه و آمریکا ساخته شد. در سال ۱۹۴۰ به بعد استفاده از انرژی خورشیدی در تولید آب گرم مصرفی و گرمایش (هوا گرم‌کن) ساختمان‌ها در آمریکا، روسیه، استرالیا و سایر کشورها رو به توسعه نهاد. سلول‌های خورشیدی (فتوولتائیک[1]) برای اولین بار در نیمه اول دهه ۱۹۵۰ وارد بازار شد. در سال ۱۹۶۱ برای اولین بار در ایتالیا از انرژی خورشیدی برای تولید برق توسط توربین‌های بخار کوچک ساخته شد مطالعه در زمینه‌های خورشیدی در ایران از حدود ۳۵ سال قبل و به‌طور همزمان در دانشگاه‌های شیراز و شریف انجام شد. تا به امروز تحقیقات مختلفی در زمینه هوا گرم‌کن‌ها[2] انجام‌شده است. بااینکه همواره مطالعات تجربی به‌عنوان بهترین و مطمئن‌ترین روش جهت برآورد کارایی دستگاه عنوان‌شده است، به دلیل دشوار بودن فراهم کردن شرایط مختلف محیطی، ساخت مدل‌های مختلف و زمان‌بر بودن هزینه‌ی بالایی در بر خواهد داشت. به همین دلیل مهندسان و محققان همواره روش‌های تئوری را بر روش تجربی ترجیح می‌دهند. روش‌های تئوری شامل مدل‌سازی ریاضی[3] و شبیه‌سازی عددی[4] می‌شود. با توجه به کم‌هزینه بودن روش‌های عددی، این روش‌ها همواره موردتوجه محققان قرارگرفته است. تحقیقات صورت گرفته بر روی هوا گرم‌کن را می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم کرد:

۱. تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی
۲. مدل‌سازی عددی و ترمودینامیکی
۳. مطالعات انجام‌شده در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی

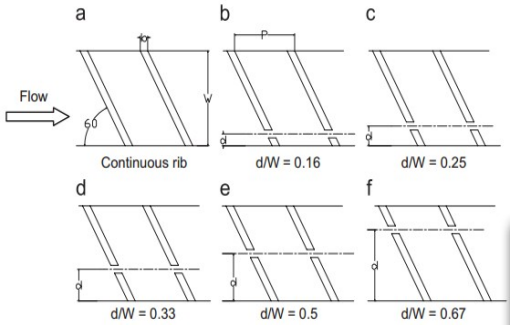
۲- تحقیقات تجربی و آزمایشگاه

هوا گرم‌کن‌ها را می‌توان به دودسته فعال و غیرفعال تقسیم کرد. در سیستم غیرفعال معمولاً جابجایی آزاد موجب انتقال حرارت می‌شود و سیستم هوا گرم‌کن با استفاده از وزن هوای جابجا شده کار می‌کند. در سیستم‌های فعال با استفاده از نیروی محرکه خارجی جابجایی هوا امکان‌پذیر می‌شود. از تحقیقات انجام‌شده می‌توان به تحقیق فورسون[5] و همکاران اشاره کرد(شکل ۱).در این تحقیق به بررسی و مقایسه دو مدل هوا گرم‌کن تک محفظه و دو محفظه پرداخته‌شده است و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شده است.از نتایج حاصل می‌توان به تأثیر تعداد کلکتور و نرخ جریان جرم و رطوبت نسبی اشاره کرد[۱].



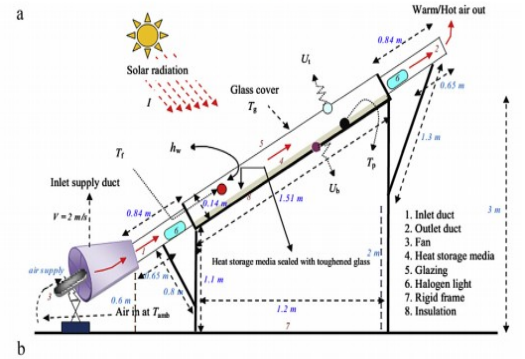
شکل ۱ مدل موردمطالعه فورسون و همکاران[۱]

در سال ۲۰۰۸ آهاروال[6] و همکاران با تعریف پارامترهای آبت مختلف مانند نسبت طول به ضخامت،زاویه،محل گپ و پارامتر زبری سطح،کارایی حرارتی هوا گرم‌کن را بررسی کردند(شکل ۲).در این تحقیق حداکثر انتقال حرارت در عدد نسلت ۵۹/۲تا ۸۷/۲ تعریف‌شده است[۲].



شکل ۲ طرح‌واره موردمطالعه آهاروال و همکاران[۲]

ساکسنا۷و همکاران با بررسی هوا گرم‌کن خورشیدی فعال کارایی حرارتی هوا گرم‌کن را بررسی کردند(شکل ۳). در این تحقیق با استفاده از دو لامپ هالوژن ۳۰۰ واتی دما در داخل هوا گرم‌کن افزایش یافت و کارایی حرارتی بهبود بخشیده شده است. از نتایج حاصل می‌توان به افزایش کارایی ۱۸/۰۴٪ تا ۲۰/۷۸٪ نسبت به جابجایی طبیعی و ۵۲/۲۱٪ تا ۸۰/۰۵٪ نسبت به حالت جابجایی اجباری اشاره کرد[۳].

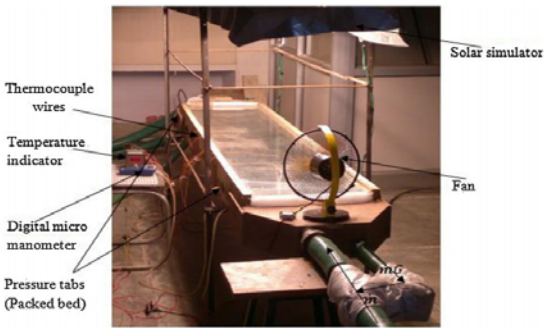


شکل ۳ شکل شماتیک موردبررسی توسط ساکسنا و همکاران[۳]

در تحقیق انجام‌شده توسط سینگ[7] و همکاران تمرکز بر به دست آمدن حرارت در زمان‌های مختلف بوده است(شکل ۴). دماها از ۹ صبح تا ۶ بعدازظهر به دست آماده است و تحقیق بر روی هوا گرم‌کن خورشیدی با بستر سنگی انجام‌شده است. در این تحقیق اثبات شد که استفاده از این نوع هوا گرم‌کن به دلیل ذخیره حرارت بسیار مناسب است دمای موجود در بستر سنگی رابطه مستقیمی بر حرارت خروجی سیال خواهد داشت.

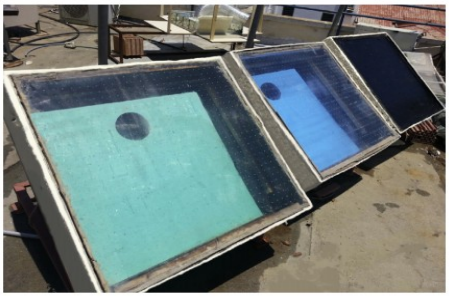
1 .Photovoltaic Cells
2 .Air heater
3 .Mathematical modeling
4 .Numerical simulation
5 .Forson

6 .Aharwal
7. Saxena
7 .Singh

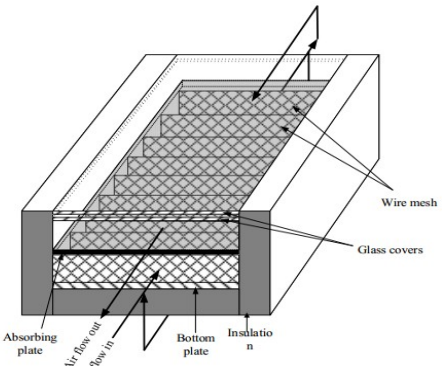


شکل ۴ دستگاه موردمطالعه سینگ و همکاران[۴]

وزیری[1] و همکاران با تعریف جریان جرمی بین ۰/۰۱۷و ۰/۰۳۶ و با تغییر رنگ شیشه به بررسی کارایی هوا گرم‌کن پرداختند(شکل ۵).در نتایج حاصل از این تحقیق به بالاترین کارایی حرارتی در جریان جرمی ۰/۰۳۶ و شیشه بارنگ مشکی اشاره‌شده است[۵]. هو و همکاران به مطالعه تجربی و تحلیلی هوا گرم‌کن‌های دوجداره پرداختند(شکل ۶).در تحقیق انجام‌شده کارایی کلکتورها به‌صورت کامل بررسی و بهینه‌شده است[۶].



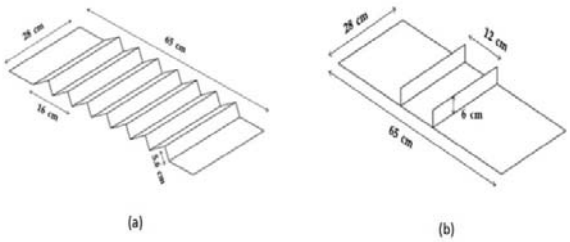
شکل ۵ هوا گرم‌کن‌های تک جداره موردمطالعه توسط وزیری و همکاران[۵]



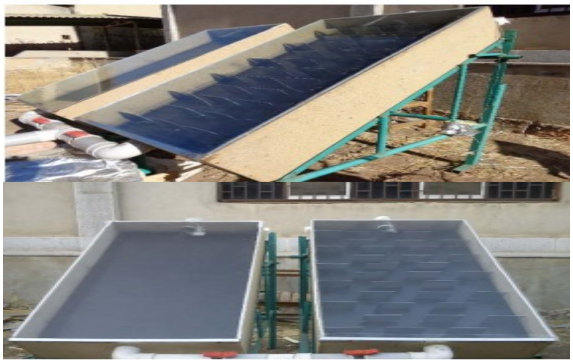
شکل۶ هوا گرم‌کن دوجداره با صفحه جاذب[۵]

علاوه بر مقالات بیان‌شده محققین ایرانی در زمینه هوا گرم‌کن تحقیقات مختلفی انجام داده‌اند. ازجمله تحقیقات انجام‌شده می‌توان به تحقیق رهبر[2] و همکاران اشاره کرد.در این تحقیق با استفاده از سطوح موج‌دار و دیوارک‌های مستطیلی شکل شیوه جدیدی جهت آشفته شدن جریان ارائه‌شده است که نتیجه آن افزایش چشمگیر نرخ انتقال حرارت و بازده حرارتی هوا گرم‌کن است[۷]. در تحقیق دیگری که توسط طاهریان[3] و لنگوری انجام‌شده است دبی جرمی هوا و شدت تابش خورشید موردمطالعه قرارگرفته است. عباسی و همکاران به استفاده از هوا گرم‌کن جهت خشک‌کردن چای پرداختند. تمرکز تحقیق بر انرژی و اکسرژی هوا گرم‌کن بوده است[۸].

احمدوند[4] و صفرزاده به طراحی هوا گرم‌کن و بررسی راندمان هوا گرم‌کن در بازه زمانی ۹ صبح تا ۱۷ در دو حالت با مانع و بدون مانع پرداختند و نتایج حاصل را باهم مقایسه کردند(شکل ۷و۸). از نتایج اعلام‌شده می‌توان به بازده حرارتی بالاتر هوا گرم‌کن به همراه مانع و بالاترین اختلاف دما در ورودی و خروجی در زمان نزدیک‌تر به ظهر اشاره کرد [۹].



شکل ۷ اجزای مختلف گردآورنده موردبررسی (a) صفحه زیرین(b) صفحه جاذب[۹]



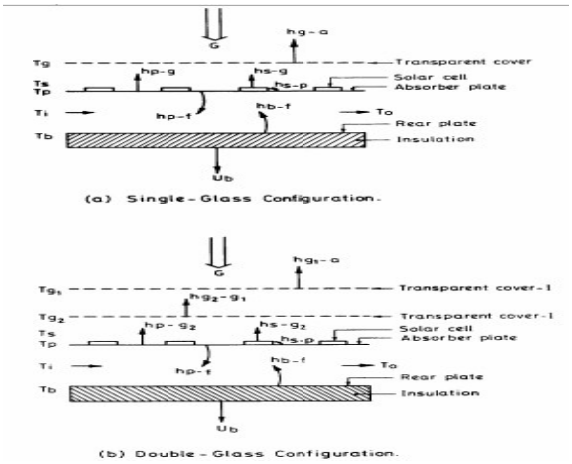
شکل ۸ دستگاه هواگرمکن خورشیدی از دو نمای مختلف: سمت راست هواگرمکن باموانع، سمت چپ هواگرمکن بدون موانع[۹]

۳- مدل‌سازی عددی و ترمودینامیکی

از اولین تحقیقات انجام‌شده درزمینه هوا گرم‌کن‌ها می‌توان به تحقیق چودهوری[5] و همکاران اشاره کرد. آن‌ها در سال ۱۹۹۶ به بررسی دو نوع هوا گرم‌کن به همراه شیشه جاذب پرداختند. در این تحقیق با تغییرات دبی سیال، قطر شیشه، عمق داکت و طول داکت رفتار و بازدهی هوا گرم‌کن بررسی‌شده است[۱۰].

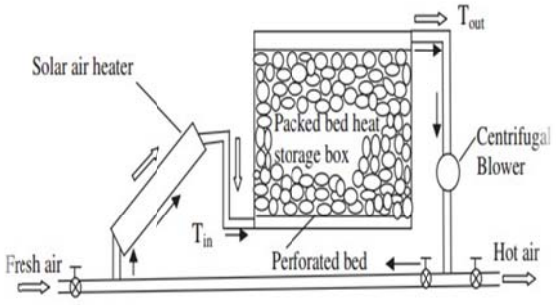
1 .Vaziri
2 .Rahbar
3. Taherian
4. Ahmandvand
5 .Chudhuri

گارگ[1] و آدیکاری به بررسی راندمان، دمای خروجی سیال، دبی جریان و تعداد سلول‌های خورشیدی در دو هوا گرم‌کن یک شیشه و دو شیشه پرداختند(شکل ۹) و درنتیجه هوا گرم‌کن بهینه ازنظر راندمان حرارتی و هزینه گرم‌کن را ارائه کردند [۱۱].

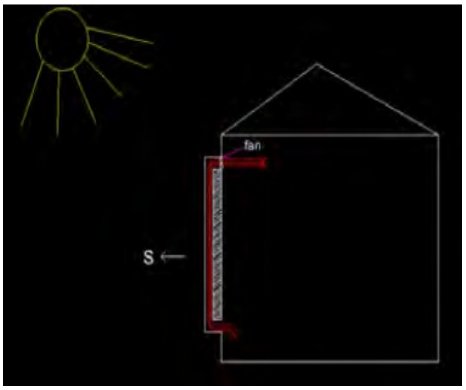


شکل ۹ هوا گرم‌کن‌های تک جداره و دوجداره[۱۱]

در تحقیقی سینگ و همکاران به بررسی هوا گرم‌کن به همراه بستر سنگی پرداختند(شکل ۱۰). در این تحقیق هوا گرم‌کن ازلحاظ کارایی حرارتی بهینه‌شده و راندمان بالاتری خواهد داشت[۱۲]. شفیعی پاجی[2] و همکاران به ارزیابی استفاده از کلکتورهای هوا گرم‌کن خورشیدی به‌منظور تأمین بار حرارتی یک ساختمان مسکونی ویلایی به مساحت ۱۲۰مترمربع در شهر کلاردشت پرداخته‌شده است(شکل ۱۱). کلکتور موردنظر از نوع صفحه تخت دو پوشش بوده و فرض شده است که این کلکتور در زمان ساخت ساختمان در دیوار جنوبی ساختمان تعبیه‌شده است[۱۳].



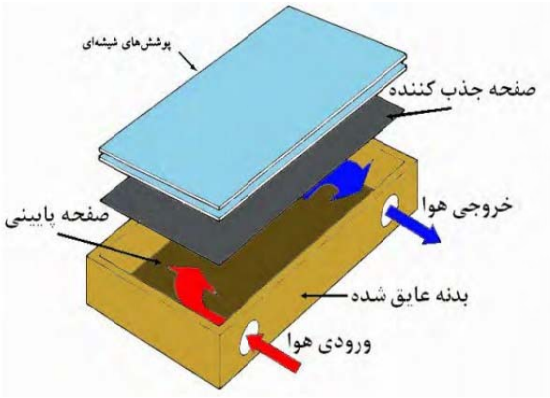
شکل ۱۰ شکل شماتیک موردبررسی توسط سینگ و همکاران[۱۲]



شکل۱۱ محل نصب کلکتور در دیوار جنوبی ساختمان[۱۳]

کلانتر[3] و رسولیان به بررسی پارامترهای مختلف بر جریان سیال در هوا گرم‌کن پرداختند.دراین پژوهش ابتدا با بررسی هندسه‌ها و مش بندی‌های مختلف و مقایسه نتایج،بهترین هندسه را برای کلکتور پیدا نموده،سپس با تغییر فاصله بین صفحات جاذب و سطح شفاف فاصله بهینه را اندازه‌گیری کرده وابعاد دریچه ورودی و خروجی با اندازه‌های مختلف بررسی می‌گردد.پارامتر دیگری که بررسی می‌شود تأثیر ضخامت شیشه و نیز دوجداره بودن آن می‌باشد. همچنین شیاردار بودن سطح جاذب را نیز بررسی کرده که سه نوع شیار موجی، مثلثی و مستطیلی با اندازه‌های مختلف بررسی گردیده است[۱۴].

عباسی و همکاران با به دست آوردن معادلات ریاضی و مدل‌سازی هوا گرم‌کن دوجداره مدل جامعی از عملکرد اپتیکی و حرارتی کلکتور به دست آماده است(شکل ۱۲). در این مدل ریاضی اغلب پارامترهای هندسی و شرایط عملکرد آن‌ها به‌صورت متغیر به‌دست‌آمده‌اند[۱۵].

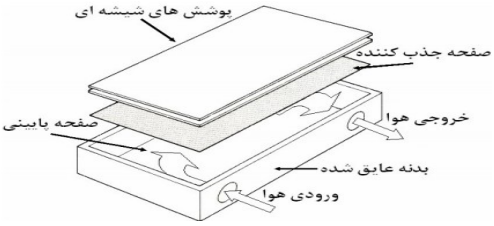


شکل۱۲ شکل شماتیک هوا گرم‌کن دوجداره[۱۵]

نامجو[4] و همکاران به بهینه‌سازی گرم‌کن‌های هوایی خورشیدی پرداختند(شکل ۱۳). برای تحلیل مدل شرایط جامعی از عملکرد حرارتی و اپتیکی گرم‌کن به‌دست‌آمده است. در این تحقیق بر متغیر فرض کردن اغلب

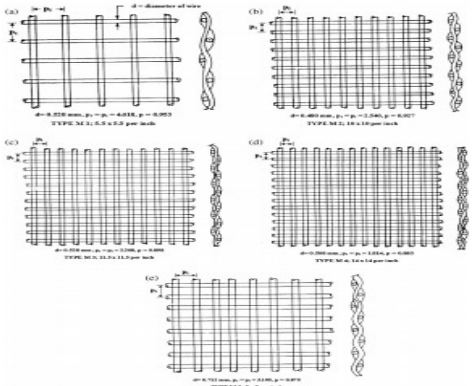
1 .Garg
2 .Shafiei paji
3 .Kalantar
4 .Namjou

پارامترهای هندسی تحلیل بی‌بعد اکسرژی انجام‌شده است و با بهینه‌سازی مسیر جریان و جریان جرمی هوا گرم‌کن بهینه‌شده است[۱۶].



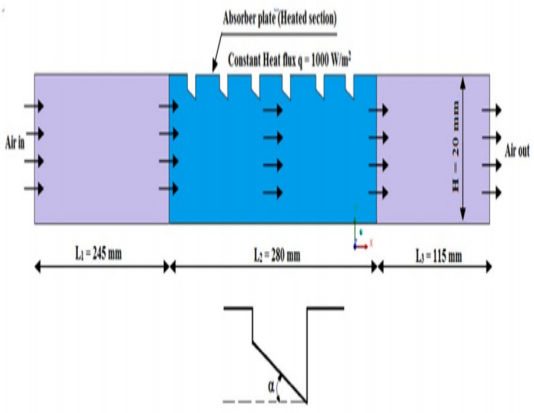
شکل ۱۳ هوا گرم‌کن خورشیدی صفحه تخت[۱۶]

چوکسی[1] و شارما با استفاده از سیم‌های بافته‌شده در کلکتور هوا گرم‌کن‌ها را ازلحاظ انرژی و اکسرژی تحلیل کردند(شکل ۱۴). در این تحقیق با تغییر اندازه و نوع بافت سیم‌ها راندمان حرارتی هوا گرم‌کن اندازه‌گیری شده است [۱۷].



شکل ۱۴ بافت سیم‌های مورداستفاده در تحقیق چوکسی و شارما[۱۷]

در سال ۲۰۱۶ گاواند و همکاران به مطالعه عددی و تجربی هوا گرم‌کن به همراه دنده پرداختند و تأثیر جهت و زاویه دنده‌ها را در انتقال حرارت از هوا گرم‌کن‌ها بررسی کردند(شکل ۱۵).از نتایج این تحقیق می‌توان به طول و زاویه بهینه در هوا گرم‌کن اشاره کرد [۱۸].



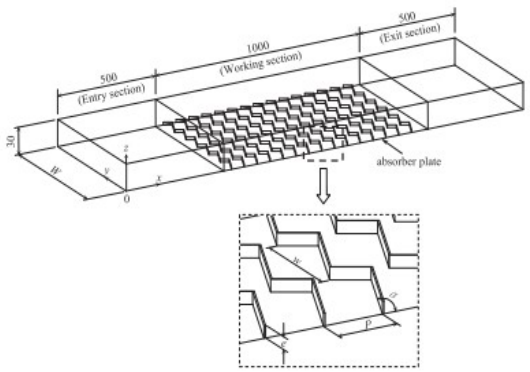
شکل۱۵ طرحواره موردمطالعه گاواند و همکاران[۱۸]

علاوه بر مطالعات انجام‌شده مطالعات مختلفی در زمینه بهینه‌سازی، تحلیل اکسرژی و انرژی و همین‌طور ارائه مدل‌های جدید و نوآوری در طراحی هوا گرم‌کن‌ها ارائه‌شده است[۱۹-۲۴].

۴- مطالعات انجام‌شده در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی

دینامیک محاسباتی سیالات یا سی‌اِف‌دی یکی از بزرگ‌ترین زمینه‌هایی است که مکانیک قدیم را به علوم رایانه و توانمندی‌های نوین محاسباتی آن در نیمه دوّم قرن بیستم و در سده جدید میلادی وصل می‌کند. سرگذشت پیدایش و گسترش دینامیک محاسباتی سیالات را نمی‌توان جدای از تاریخ اختراع، رواج و تکامل کامپیوترهای ارقامی نقل کرد. تا حدود انتهای جنگ جهانی دوم، بیشتر شیوه‌های مربوط به حل مسائل دینامیک سیالات از طبیعتی تحلیلی یا تجربی برخوردار بود. همچون تمامی نوآوری‌های برجسته علمی، در این مورد هم اشاره به زمان دقیق آغاز دینامیک محاسباتی سیالات نامیسر است. در اغلب موارد، نخستین کار بااهمیت در این رشته را به ریچاردسون نسبت می‌دهند که در سال ۱۹۱۰ (میلادی) محاسبات مربوط به نحوه پخش تنش در یک سد ساخته‌شده از مصالح بنّایی را به انجام رسانید.در این کار ریچاردسون از روشی تازه موسوم به رهاسازی برای حل معادله لاپلاس استفاده نمود. او در این شیوه حل عددی، داده‌های فراهم آمده از مرحله پیشین تکرار را برای تازه‌سازی تمامی مقادیر مجهول در گام جدید به کار می‌گرفت.در این روش با تبدیل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای حاکم بر سیالات به معادلات جبری امکان حل عددی این معادلات فراهم می‌شود. با تقسیم ناحیه موردنظر برای تحلیل به المان‌های کوچک‌تر و اعمال شرایط مرزی برای گره‌های مرزی با اعمال تقریب‌هایی یک دستگاه معادلات خطی به دست می‌آید که با حل این دستگاه معادلات جبری، میدان سرعت، فشار و دما در ناحیه موردنظر به دست می‌آید. با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از حل معادلات می‌توان برآیند نیروهای وارد بر سطوح، ضرایب برا و پسا و ضریب انتقال حرارت را محاسبه نمود.

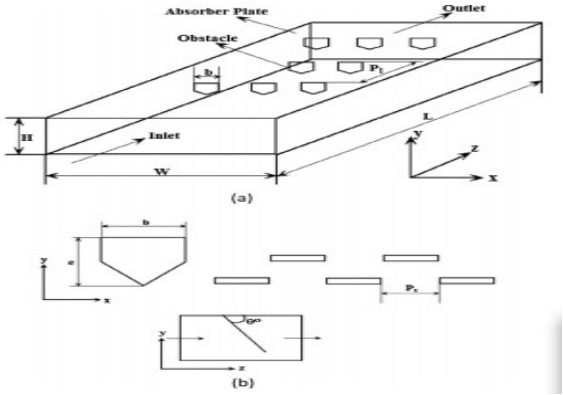
جین و همکاران با طراحی دنده‌هایی در داخل داکت در هوا گرم‌کن انتقال حرارت را با نرم‌افزارهای سی اف دی بررسی نمودند جین و همکاران با طراحی دنده‌هایی در داخل داکت در هوا گرم‌کن انتقال حرارت را با نرم‌افزارهای سی اف دی بررسی نمودند(شکل ۱۶). در این تحقیق تأثیر پارامترهای مختلف همچون زبری سطح و عدد رینولدز بر انتقال حرارت بررسی‌شده است و مدل موردبررسی با مدل‌سازی‌های $K-\omega$ و $RNG, K-\varepsilon$ موردبررسی قرارگرفته است[۲۴].



شکل۱۶ هواگرم کن به همراه دنده‌های V شکل [۲۴]

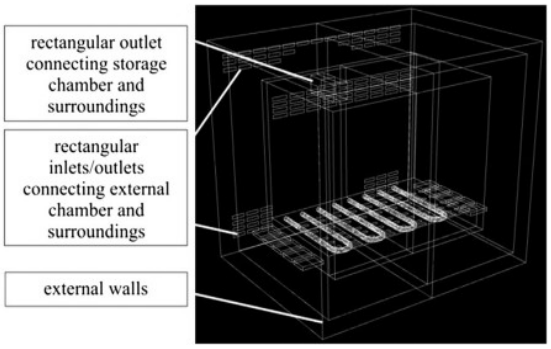
1. Chouksey

افضل و همکاران با قرار دادن موانعی در داخل هوا گرم‌کن انتقال حرارت در دستگاه را به‌صورت سه‌بعدی بررسی و بهینه کردند(شکل ۱۷).در این تحقیق دو نوع هوا گرم‌کن مدل‌سازی شده است.مدل‌سازی عددی توسط نرم‌افزار مطلب انجام‌شده است و هوا گرم‌کن با دنده‌های زبر با هوا گرم‌کن با سطح دندان‌های صاف با یکدیگر مقایسه شده‌اند.همچنین تأثیر وجود شیشه بر انتقال حرارت و کارایی حرارتی هوا گرم‌کن بررسی‌شده است[۲۵].



شکل ۱۷ طرح‌واره موردمطالعه افضل و همکاران شکل، ابعاد و زاویه دنده[۲۵]

اسمولکا به‌وسیله الگوریتم ژنتیک به بررسی کارایی حرارتی هوا گرم‌کن پرداختند(شکل ۱۸). همچنین توزیع دما در هوا گرم‌کن مدل‌سازی و بررسی‌شده است[۲۶].



شکل ۱۸ مدل موردبررسی اسمولکا ابعاد و محیط موردمطالعه[۲۶]

علاوه بر تحقیقاتی که عنوان شد، تحقیقات مختلف دیگری در زمینه هوا گرم‌کن‌ها انجام‌شده است که به بررسی و بهینه کردن تحقیقات پیشین بصورت مقالات مروری پرداخته است.

شارما و کالامکاردر تحقیق خود تأثیر پارامترهای مختلف بر کارایی هوا گرم‌کن را بررسی کردند.پارامترهای ارتفاع دنده،زبری نسبی دنده و مشخصات هندسی آن در این تحقیق موردتوجه قرارگرفته است[۲۷]. ساکسنا و همکاران تأثیر پارامتر همانند تشعشع حرارتی، شکل و ابعاد هوا گرم‌کن بر راندمان آن را بررسی کردند و مقادیر بهینه را ارائه کردند. در این تحقیق تحقیقات پیشین از سال ۱۸۷۷ موردمطالعه قرارگرفته است. راوی و پرساد در تحقیق خود تأثیر وجود بافل را در هوا گرم‌کن بررسی کردند. تحقیق انجام‌شده بر روی هوا گرم‌کن‌های دابل پس انجام‌شده است. علاوه بر تحقیقات بیان‌شده تحقیقات مختلفی در جهت بررسی و افزایش راندمان و همچنین ابعاد بهینه هوا گرم‌کن انجام‌شده است. در این تحقیقات راندمان هوا گرم‌کن بررسی تأثیر پارامترهایی همچون عدد بدون بعد رینولدز و ناسلت در انتقال حرارت از هوا گرم‌کن‌ها ارائه‌شده است[۲۸-۳۴].

۵- نتایج:

انرژی خورشید به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدید پذیر درروی زمین می‌باشد که علاوه بر سازگاری با محیط‌زیست همیشه در قسمت اعظمی از سطح کره زمین یافت می‌شود و انسان همواره برای مهار این انرژی و استفاده بهینه از آن تلاش کرده است. امروزه انرژی خورشید طیف وسیعی از کاربردها را مانند تهیه آب گرم برای مصارف شهری و روستایی، تهویه مطبوع ساختمان‌ها و مخصوصاً خشک‌کردن محصولات کشاورزی، تولید برق نیروگاه‌ها با جمع کننده خورشیدی و... دارا می‌باشد. فناوری ساده، کاهش آلودگی هوا و محیط‌زیست و از همه مهم‌تر ذخیره شدن سوخت‌های فسیلی برای آینده با تبدیل آن‌ها به مواد پردازش با استفاده از تکنیک پتروشیمی ، از دلایل لزوم استفاده از انرژی خورشیدی در کشور هستند. همان گونه که پیش از این بیان شد در این تحقیق تلاش بر مرور و تحلیل هواگرم کن‌های خورشیدی بوده است.

۶- منابع و مراجع:

[1] F. K. Forson, M. A. Nazha, H. Rajakaruna, Experimental and simulation studies on a single pass, double duct solar air heater, Energy Conversion and Management, Vol. 44, No. 8, pp. 1209-1227, 2003 .
[2] K. Aharwal, B. Gandhi, J. Saini, Experimental investigation on heat-transfer enhancement due to a gap in an inclined continuous rib arrangement in a rectangular duct of solar air heater, Renewable energy, Vol. 33, No. 4, pp. 585-596, 2008 .
[3] A. Saxena, G. Srivastava, V. Tirth, Design and thermal performance evaluation of a novel solar air heater, Renewable Energy, Vol. 77, pp. 501-511, 5//, 2015 .
[4] S. Singh, P. Dhiman, Exergoeconomic analysis of recyclic packed bed solar air heater- sustained air heating system for buildings, Journal of Energy Storage, Vol. 5, pp. 33-47, 2//, 2016 .
[5] R. Vaziri, M. İlkan, F. Egelioglu, Experimental performance of perforated glazed solar air heaters and unglazed transpired solar air heater, Solar Energy, Vol. 119, pp. 251-260, 2015 .
[6] C.-D. Ho, H. Chang, C.-S .Lin, C.-C. Chao, Y.-E. Tien, Analytical and experimental studies of wire mesh packed double-pass solar air heaters under recycling operation, Energy Procedia, Vol. 75, pp. 403-409, 2015 .
[7] N. Rahbar, M. Javadi Nyaazry, c. Zohoorian divine, to evaluate the thermal performance of an air-water heaters in different conditions, Eighteenth Annual Conference of Mechanical Engineering, 1389.
[8] h. Taheriyan,A Mohseni Lngerody, Experimental Evaluation of warm air heaters in residential space heating, energy conservation Conference, 1386.
[9] M. Ahmadvand, h. A. Safarzadeh to investigate the impact of nano-coated barriers on the thermal performance of solar Hvagrmkn, the second national conference on applied research in electrical, mechanical and mechatronics, 1393.
[10] C. Choudhury, P. Chauhan, H. Garg, S. Garg, Cost—benefit ratio of triple pass solar air heaters, Energy conversion and management, Vol. 37, No. 1, pp. 95-116, 1996 .
[11] H. Garg, R. Adhikari, Conventional hybrid hotovoltaic/thermal (PV/T) air heating collectors :steady-state simulation, Renewable Energy, Vol. 11, No. 3, pp. 363-385, 1997 .
[12] P. L. Singh, S. D. Deshpandey, P. C. Jena, Thermal performance of packed bed heat storage system for solar air heaters, Energy for Sustainable Development, Vol. 29, pp .2015 ,//12 ,117-112 .
[13] S. Shafiee Pajy, R. Azarmina, R. Sadighei, A. Kia, technical evaluation of solar Hvagrmkn to heat the building, the first national conference on the future of the building, 1392.
[14]V.Kalantar,a.m, A. Rasoulian to evaluate the effect of various parameters on the performance of solar air heater, the second annual International Conference on Clean Energy, 1391.
[15] b. Abbasi H. Qnazadeh, n. Emami, M. Tabarsa, energy efficiency and exergy study of green tea leaves drying in a dryer fixed bed, the third National Conference of Fuel, Energy and Environment, 1392.

[16] A. Namjoo, f. Sarhadi, f. sobh namayan, Exergy analysis and optimization of the air heater Page - sun beds, Sixteenth Annual Conference of Mechanical Engineering, 1387.
[17] V. K. Chouksey, S. P. Sharma, Investigations on thermal performance characteristics of wire screen packed bed solar air heater, Solar Energy, Vol. 132, pp. 591-605, 7//, 2016 .
[18] V. B. Gawande, A. S. Dhoble, D. B. Zodpe, S. Chamoli, Analytical approach for evaluation of thermo hydraulic performance of roughened solar air heater, Case Studies in Thermal Engineering ,Vol. 8, pp. 19-31, 9//, 2016 .
[19] W. Gao, W. Lin, E. Lu, Numerical study on natural convection inside the channel between the flat-plate cover and sine-wave absorber of a cross-corrugated solar air heater, Energy Conversion and Management, Vol. 41, No ,2 .pp. 145-151, 2000 .
[20] A.-M. E. Momin, J. Saini, S. Solanki, Heat transfer and friction in solar air heater duct with V-shaped rib roughness on absorber plate, International journal of heat and mass transfer, Vol. 45, No. 16, pp. 3383-3396, 2002 .
[21] A. Layek, J. Saini, S. Solanki, Second law optimization of a solar air heater having chamfered rib–groove roughness on absorber plate, Renewable Energy, Vol. 32, No. 12, pp. 1967-1980, 2007 .
[22] T. Alam, M.-H. Kim, Numerical study on thermal hydraulic performance improvement in solar air heater duct with semi ellipse shaped obstacles, Energy, Vol. 112, pp. 588-598, 10/1/, 2016 .
[23] E. A. Handoyo, D. Ichsani, Prabowo, Sutardi, Numerical studies on the effect of delta-shaped obstacles' spacing on the heat transfer and pressure drop in v-corrugated channel of solar air heater, Solar Energy, Vol. 131, pp. 47-60, 6//, 2016 .
[24] D. Jin, M. Zhang, P. Wang, S. Xu, Numerical investigation of heat transfer and fluid flow in a solar air heater duct with multi V-shaped ribs on the absorber plate, Energy, Vol. 89, pp. 178-190, 9//, 2015 .
[25] K. Kulkarni, A. Afzal, K.-Y. Kim, Multi-objective optimization of solar air heater with obstacles on absorber plate, Solar Energy, Vol. 114, pp. 364-377, 4//, 2015 .
[26] J. Smolka, Genetic algorithm shape optimisation of a natural air circulation heating oven based on an experimentally validated 3-D CFD model, International Journal of Thermal Sciences, Vol. 71, pp. 128-139, 2013 .
[27] S. K. Sharma, V. R. Kalamkar, Thermo-hydraulic performance analysis of solar air heaters having artificial roughness–A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 41, pp. 413-435, 1//, 2015 .
[28] A. Saxena, Varun, A. A. El-Sebaii, A thermodynamic review of solar air heaters ,Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 43, pp. 863-890, 3//, 2015 .
[29] R. K. Ravi, R. P. Saini, A review on different techniques used for performance enhancement of double pass solar air heaters, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 5 ,6pp. 941-952, 4//, 2016 .
[30] A. K. Patil, Heat transfer mechanism and energy efficiency of artificially roughened solar air heaters—A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 42, pp. 681-689, 2//, 2015 .
[31] A. M. Lanjewar, J. L. Bhagoria, M. K. Agrawal, Review of development of artificial roughness in solar air heater and performance evaluation of different orientations for double arc rib roughness, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 43, pp. 1214-1223, 3//, 2015 .
[32] V. B .Gawande, A. S. Dhoble, D. B. Zodpe, S. Chamoli, A review of CFD methodology used in literature for predicting thermo-hydraulic performance of a roughened solar air heater, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 54, pp. 550-605, 2//, 2016 .
[33] S. Aboul-Enein, A. El-Sebaii, M. Ramadan, H. El-Gohary, Parametric study of a solar air heater with and without thermal storage for solar drying applications, Renewable Energy, Vol. 21, No. 3, pp. 505-522, 2000 .
[34] V. B. Gawande, A. Dhoble, D. Zodpe, S .Chamoli, Analytical approach for evaluation of thermo hydraulic performance of roughened solar air heater, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 8, pp. 19-31, 2016 .