به نام خدا

بررسی تجربی اثر نانوسیال اکسیدهای فلزی و غیرفلزی در بهبود عملکرد اجاق خورشیدی غیرمستقیم از دیدگاه انرژی و اگزرژی

مولف:

رضا صادقی راد

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران – ۱۴۰۳)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

chaponashr.ir

سرشناسه : صادقی راد، رضا، ۱۳۷۰
عنوان و نام پدیدآور : بررسی تجربی اثر نانوسیال اکسیدهای فلزی و غیرفلزی در بهبود عملکرد اجاق خورشیدی غیرمستقیم از دیدگاه انرژی و اگزرژی/ مولف رضا صادقی راد.
مشخصات نشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)،۱۴۰۳.
مشخصات ظاهری : ۸۰ ص.
شابک : ۰-۶۳۱-۴۰۸-۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
موضوع : نانوسیال اکسیدهای فلزی و غیرفلزی - اجاق خورشیدی غیرمستقیم - بهبود عملکرد
رده بندی کنگره : GV۴۰۳
رده بندی دیویی : ۳۷۳/۲۶
شماره کتابشناسی ملی : ۹۷۶۲۱۸۲
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

نام کتاب : بررسی تجربی اثر نانوسیال اکسیدهای فلزی و غیرفلزی در بهبود عملکرد اجاق خورشیدی غیرمستقیم از دیدگاه انرژی و اگزرژی
مولف : رضا صادقی راد
ناشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)
صفحه آرایی، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ : اول – ۱۴۰۳
چاپ : زبرجد
قیمت : ۸۰۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب‌رسان :
https://chaponashr.ir/ketabresan
شابک : ۰-۶۳۱-۴۰۸-۶۲۲-۹۷۸
تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www. chaponashr. ir

انتشارات ارسطو
چاپ و نشر ایران
Chaponashr.ir

فهرست

فصل اول: مقدمه ۹
اجاق‌های خورشیدی ۱۰
مفهوم نانوسیال ۱۲
روشهای تهیهی نانوسیالات ۱۳
روش تهیه یک مرحلهای ۱۴
روش تهیه دو مرحلهای ۱۵
پایدارسازی نانوسیالات ۱۶
تغییر میزان PH سوسپانسیون ۱۷
استفاده از مواد فعالکنندهی سطحی و پخشکنندهها ۱۷
اجاقهای خورشیدی غیر مستقیم ۱۹
نانوسیالات ۲۹
فصل دوم: بستر آزمایش ۳۷
مقدمه ۳۷
شماتیک اجزای سیستم آزمایش ۳۸
متمرکزکننده سهموی ۳۹
دریافتکننده ۳۹
واحد پخت غذا ۴۱
پمپ ۴۴
عایقبندی حرارتی ۴۴
مخزن نگهدارنده سیال ۴۵
سیال پایه انتقالدهنده حرارت ۴۶
خواص نانوذرات مورده استفاده در آزمایش ۴۸
تجهیزات اندازهگیری استفاده شده در آزمایش ۵۳
اندازه گیری دما ۵۳

اندازه گیری تشعشع ۵۴
اندازه گیری دبی حجمی ۵۴
اندازه گیری زمان ۵۴
فصل سوم : معادلات و روابط حاکم ۵۵
معادلات و روابط انرژی حاکم بر واحد پخت غذا..... ۵۵
قانون اول ترمودینامیک (انرژی) برای واحد پخت غذا ۵۵
محاسبه توان دریافتی آب ۵۶
محاسبه توان دریافتی واحد پخت غذا ۵۶
محاسبه بازده حرارتی واحد پخت غذا ۵۷
معادلات و روابط انرژی حاکم بر دریافتکننده..... ۵۷
قانون اول ترمودینامیک(انرژی) برای دریافتکننده ۵۷
محاسبه توان مفید دریافتکننده ۵۸
محاسبه بازده حرارتی دریافتکننده ۵۹
معادلات و روابط اگزرژی حاکم بر واحد پخت غذا..... ۶۰
معادله اگزرژی برای واحد پخت غذا ۶۰
محاسبه تغییر اگزرژی حرارتی آب ۶۰
محاسبه تغییر اگزرژی جریانی نانوسیال در واحد پخت غذا ۶۱
محاسبه بازده اگزرژی واحد پخت غذا ۶۱
معادلات و روابط اگزرژی حاکم بر دریافت‌کننده..... ۶۱
معادله اگزرژی برای دریافت‌کننده ۶۱
محاسبه تغییر اگزرژی جریانی نانوسیال در دریافتکننده..... ۶۲
محاسبه اگزرژی تشعشع خورشید..... ۶۲
محاسبه بازده اگزرژی دریافت‌کننده ۶۳
محاسبه بازده حرارتی کلی سیستم ۶۳
محاسبه بازده اگزرژی کلی سیستم..... ۶۴
تخریب اگزرژی سیستم ۶۴
تخریب اگزرژی دریافتکننده ۶۴

تخریب اگزرژی واحد پخت غذا ۶۵
تخریب اگزرژی مخزن و پمپ ۶۵
محاسبه خواص نانوسیال ۶۶
روابط عدم قطعیت..... ۶۷
میانگین حسابی ۶۸
انحراف معیار استاندارد ۶۸
عدم قطعیت استاندارد در اثر تکرار آزمایش ۶۸
عدم قطعیت استاندارد در اثر تجهیزات اندازهگیری ۶۸
عدم قطعیت کلی هریک از پارامترها ۶۹
منابع ۷۱

قدردانی و تشکر

این کتاب را تقدیم می‌کنم به مهربانترین همراهان زندگیم، پدر و مادر عزیزم که حضورشان همیشه گرما بخش روح من بوده است.

تقدیم به پیشگاه حضرت ولی عصر (عج)

فصل اول:

مقدمه

پیش‌زمینه

افزایش قیمت حامل‌های انرژی، موجب ایجاد انگیزه برای توسعه‌ی تحقیقات در زمینه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر به خصوص انرژی خورشیدی شده است. این رویکرد تحت تأثیر کاهش روز افزون سوخت‌های فسیلی و همچنین آثار مخرب ناشی از استفاده از این نوع سوخت‌ها در حال تشدید نیز می‌باشد. در حال حاضر انرژی‌های تجدیدپذیر حدود ۱۹/۳٪ از انرژی مصرفی مورد نیاز جهان را تأمین می‌کنند.

بحران‌های زیست محیطی و کمبود انرژی‌های فسیلی، انرژی خورشیدی را به عنوان یکی از منابع راهبردی برای تأمین انرژی در کشورهای مختلف تبدیل کرده است. در حال حاضر بخش عمده انرژی مورد نیاز برای مصرف‌های خانگی و صنعتی از طریق سوخت‌های فسیلی مانند نفت، چوب و گاز تأمین می‌گردد. با توجه به آلودگی محیط زیست و پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی، جایگزینی آنها با منابع مناسب‌تر ضروری به نظر می‌رسد به همین دلیل توسعه کاربرد اجاق‌های خورشیدی یکی از سیاست‌های جهانی می‌باشد.

از انرژی خورشید در زمینه‌های مختلفی استفاده می‌شود که مهمترین آن را می‌توان به شرح زیر بیان نمود.

- ❖ فتوولتائیک[۱] ؛ تولید انرژی الکتریکی با استفاده از انرژی گرمایی خورشید.
- ❖ نیروگاه‌های خورشیدی[۲] ؛ تأمین انرژی مورد نیاز بویلر نیروگاه‌های برق با استفاده از گرمای متمرکز شده خورشید.
- ❖ خشک‌کن‌های خورشیدی[۳] ؛ خشک‌کردن مواد غذایی و محصولات طبیعی با استفاده از انرژی خورشید.
- ❖ آب‌گرمکن‌های خورشیدی؛ تأمین آب گرم مورد نیاز منازل با استفاده از انرژی خورشید.
- ❖ آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی[۴] ؛ تهیه آب شیرین با استفاده از انرژی گرمایی خورشید.
- ❖ اجاق‌های خورشیدی[۵] ؛ پخت غذا با استفاده از انرژی گرمایی خورشید.

در کشورهای در حال توسعه انرژی لازم برای پخت غذا سهم بالایی از انرژی مصرفی کل را به خود اختصاص می‌دهد. به عنوان نمونه انرژی مورد نیاز برای پخت غذا در هند حدود ۳۶٪ کل انرژی مصرفی در این کشور را تشکیل می‌دهد [۱]. بنابراین استفاده از اجاق‌های خورشیدی در پخت غذا می‌تواند نقش مهمی را در کاهش هزینه‌ها داشته باشد.

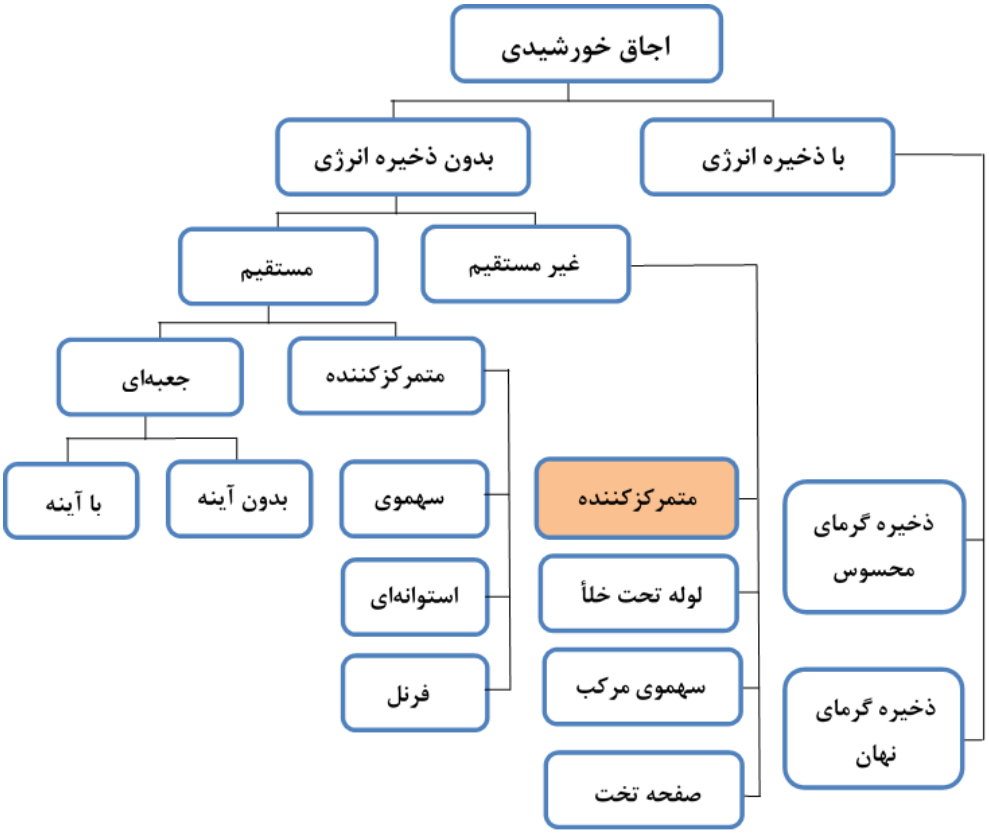
اجاق‌های خورشیدی

اصول کار اجاق‌های خورشیدی جمع‌آوری پرتوهای خورشید در یک نقطه کانونی یا حبس آنها دریک فضای گلخانه‌ای است. اجاق‌های بدون واحد ذخیره‌کننده انرژی، متناسب با نوع انتقال گرما به محفظه پخت غذا، به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. فرآیند آشپزی در نوع مستقیم با استفاده از انرژی خورشید به طور مستقیم اتفاق می‌افتد، در حالی که در نوع غیر مستقیم از یک سیال انتقال‌دهنده حرارت برای انتقال گرما از

---

۱ *Photovoltaics*
۲ *Solar power plant*
۳ *Solar Drying*
۴ *Solar Desalination*
۵ *Solar cooker*

دریافت‌کننده به واحد پخت غذا استفاده می‌شود. اجاق‌های خورشیدی انواع مختلفی دارند که دسته‌بندی کلی آنها در شکل ۱-۱ ارائه شده است [۳]:



شکل ۱-۰ دسته بندی کلی انواع اجاق‌های خورشیدی

مهمترین اجاق‌های خورشیدی که به صورت مستقیم برای پخت مواد غذایی استفاده می‌شوند، اجاق‌های صفحه‌ای ، متمرکزکننده و جعبه‌ای هستند. روی اجاق‌های جعبه‌ای پوشش شیشه‌ای قرار می‌گیرد و برای افزایش بازده انرژی، جداره‌های داخلی اجاق جعبه‌ای به‌وسیله‌ی آینه‌ها پوشش داده می‌شود تا تشعشع منعکس شده بیشتری به سطوح ظروف غذای داخل محفظه شیشه‌ای برسد. در بین اجاق‌های خورشیدی، اجاق متمرکزکننده

سهموی یکی از مقرون به‌صرفه ترین مدل‌ها، به دلیل زمان کم پخت، بازده حرارتی بالا و نصب و راه‌اندازی آسان این اجاق‌ها می‌باشد. همچنین پیکره بندی اجاق سهموی بهترین نتایج را با بازده کلی بین ٪ ۱۴ تا ٪ ۱۸ دارد و انرژی خورشیدی جذب شده توسط این کلکتورها از نوع صفحه تخت بیشتر است. البته از معایب اجاق‌های سهموی، محدودیت استفاده در زمان تابش خورشید و نبود اثر گلخانه‌ای در مقایسه با اجاق‌های جعبه‌ای می‌باشد. همچنین در این نوع کلکتور تنها تابش مستقیم خورشید جذب می‌شود. به همین دلیل، کلکتورهای متمرکزکننده همواره باید خورشید را تعقیب کنند.

نانوسیالات

مفهوم نانوسیال

هدایت حرارتی سیال انتقال‌دهنده حرارت و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی نقش کلیدی در بازده حرارتی تجهیزاتی نظیر مبدل‌های حرارتی بر عهده دارد. سیالات انتقال‌دهنده حرارت را معمولا سیالاتی نظیر آب، اتیلن گلیکول و روغن‌ها تشکیل می‌دهند. کاملا مشخص است که فلزات در حالت جامد خود دارای هدایت حرارتی بسیار بالایی نسبت به سیالات هستند. به عنوان نمونه هدایت حرارتی مس در دمای محیط حدود ۷۰۰ برابر آب و ۳۰۰۰ برابر روغن موتور است، به همین دلیل انتظار می‌رود که سیالات حاوی ذرات جامد فلزی یا اکسید فلزی دارای ضریب هدایت حرارتی بیشتری نسبت به سیالات خالص باشند. به طورکلی، نانوسیال را می‌توان به صورت یک سوسپانسیون شامل نانوذرات فلزی، اکسید فلزی و نانولوله‌های کربنی در محدوده بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر درون یک سیال پایه تعریف نمود. نانوسیالات به سه گروه فلزی، اکسیدهای فلزی و غیرفلزی طبقه‌بندی می‌شوند. نانوسیالات فلزی حاوی نانوذرات فلزی مانند آلومینیوم، آهن، طلا، تیتانیوم، سیلیسیوم، روی و نقره می‌باشند. درنهایت نانوسیالات غیرفلزی شامل نانولوله‌های کربنی [۱]و نانو مواد کامپوزیتی [۲] هستند. اولین بار دکتر چوی [۳]، در سال ۱۹۹۵در یکی از آزمایشگاه-

[۱] Carbon nano-tubes
[۲] Composite nano-materials
[۳] Choi

های ایالات متحده، موفق به تولید نانوسیال شد. بعد از او محققان زیادی در مورد خواص نانوسیالات به تحقیق و پژوهش پرداختند. عمده این تحقیقات در زمینه‌ی خواص انتقال حرارتی ترکیبات گوناگون از نانوسیالات بوده است. به عنوان نمونه با استفاده از ترکیبات اتیلن گلیکول با نانوذرات مس با غلظت حجمی ۳٪، نسبت به سیال خالص پایه افزایش ۴۰ درصدی در هدایت حرارتی سیال مشاهده شده است [۶]. خواص انتقال حرارتی نانوسیالات به درصد حجمی نانوذرات در سیال پایه، اندازه، شکل، نوع، دما، نوع سیال پایه، نوع جریان، ترکیبات پایدارکننده‌ی نانوسیال و بسیاری از عوامل دیگر بستگی دارند. حیطه‌ی تحقیق حاضر استفاده از نانوذرات نانولوله‌های کربنی چند جداره[۱]، اکسید تیتانیوم[۲]، سیلیکون کاربید[۳] و اکسید سیلیسیوم[۴] به‌منظور بهبود خواص ترموفیزیکی سیال پایه است که در ادامه بیشتر مورد بحث قرار خواهند گرفت.

روش‌های تهیه‌ی نانوسیالات

تهیه‌ی نانوسیال اولین اقدام مهم به منظور تغییر در عملکرد انتقال حرارتی سیالات است. تهیه‌ی نانوسیال مانند یک اختلاط ساده جامد در مایع نمی‌باشد. برای تهیه نانوسیال باید شرایط ویژه‌ای مانند یکنواختی و پایداری[۵] سوسپانسیون، کاهش کلوخه‌ای شدن[۶] ذرات، ته‌نشین[۷] نشدن و عدم تغییرات شیمیایی سیال ایجاد شود. بر همین اساس می‌توان از روش‌های مختلفی مانند تغییر PH سوسپانسیون، مواد فعال‌کننده‌ی سطحی و لرزاننده-های مافوق صوت استفاده کرد. با توجه به موارد ذکر شده، شیوه‌های تهیه نانوسیال به دو روش تقسیم می‌گردد.

---

[۵] multi-walled carbon nano-tubes (MWCNT)

[۶] Titanium dioxide (TiO_2)

[۳] Silicon carbide (SiC)

[۴] Silicon dioxide (SiO_2)

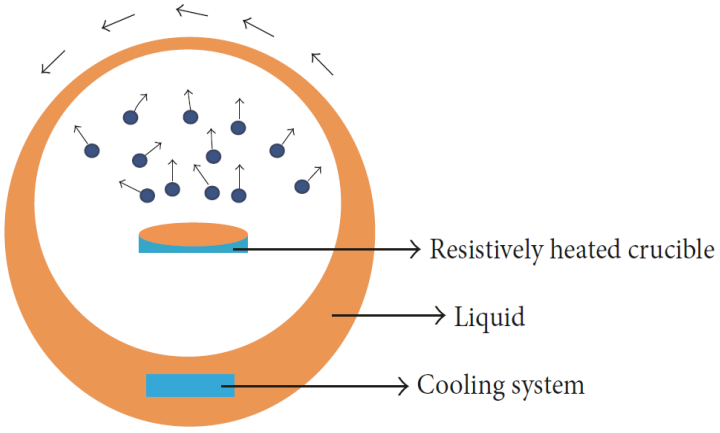
[۵] Stability

[۶] Agglomeration

[۷] Settling

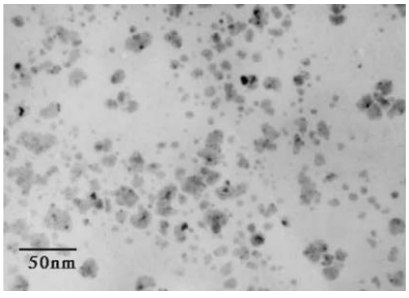
روش تهیه یک مرحله‌ای

در روش یک مرحله‌ای، ذرات به طور مستقیم و همزمان در درون سیال پایه تهیه می‌شود. در این روش ذرات فلزی تحت شرایط خلاء تبخیر می‌شود و بخار فلز مستقیما به دورن سیال پایه هدایت می‌شود تا به شکل نانوذرات کندانس گردد[۷]. این روش تهیه نانوسیال که به روش پایین به بالا نیز معروف است در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۰ روش تک مرحله‌ای تهیه نانوسیال

در روش یک مرحله‌ای از پراکندگی ذرات، انتقال، و انبارش جلوگیری می‌شود بنابراین با کاهش تجمع ذرات، پایداری سوسپانسیون افزایش می‌یابد .همانطور که در شکل ۱-۳ مشخص است، نانوسیال حاوی نانوذرات مس به روش یک مرحله‌ای تهیه گردیده است.

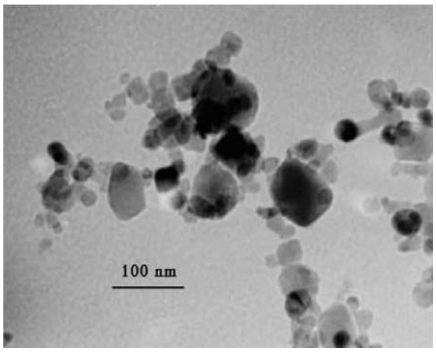


شکل ۳-۰ تصویر TEM[1] نانوسیال حاوی نانوذرات مس که به روش یک مرحله‌ای تهیه شده است

هزینه تولید در این روش بسیار بالاست و نمی‌توان در مقیاس‌های زیاد نانوسیال تولید کرد که از معایب این روش می‌باشد. بنابراین محققین در اغلب کارهای تحقیقاتی خود به استفاده از روش دو مرحله‌ای تهیه نانوسیال اشاره کرده‌اند.

روش تهیه دو مرحله‌ای

متداول‌ترین روش تهیه نانوسیالات، روش دو مرحله‌ای است. در این روش نانوذرات یا نانولوله‌های کربنی معمولا به وسیله‌ی روش رسوب بخار شیمیایی[2] در فضای گاز بی اثر به صورت پودرهای خشک تهیه می‌شود [۹]. استفاده از گاز بی‌اثر به منظور جلوگیری از تشکیل اکسیدهای فلزی است. در حالی که هدف تهیه نانوذرات اکسید فلزی باشد، از اکسیژن هوا به جای گاز بی‌اثر استفاده می‌شود. در شکل ۱-۴ تهیه نانوذرات اکسید مس به روش رسوب بخار شیمیایی نشان داده شده است.



شکل ۴-۰ تصویر TEM نانوذرات اکسید مس که به روش رسوب بخار شیمیایی تهیه شده است.

[1] Transmission Electron Microscope

[2] Chemical Vapor Deposition