دانشکده مهندسی
گروه مکانیک

عنوان پایان‌نامه:

بهبود مشخصات ساختاری- عملکردی و تحلیل اکسرژی بستر جاذب در چیلرهای جذب سطحی

مولف:

هدی طالبیان

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته

مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

استاد راهنما:

دکتر حمید نیازمند

استاد مشاور:

دکتر علی فائزیان

آذر ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی
گروه مکانیک

عنوان پایان‌نامه:

بهبود مشخصات ساختاری- عملکردی و تحلیل اکسرژی بستر جاذب در چیلرهای جذب سطحی

مولف:

هدی طالبیان

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته

مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

استاد راهنما:

دکتر حمید نیازمند

استاد مشاور:

دکتر علی فائزیان

آذر ۱۳۹۱

تائیدیه

گواهی می‌شود که این پایان‌نامه تاکنون برای احراز یک درجه علمی ارائه نشده است و تمامی مطالب آن به جز مواردی که نام مرجع آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجو می‌باشد.

دانشجو: هدی طالبیان امضاء تاریخ

استاد راهنما: دکتر حمید نیازمند امضاء تاریخ

استاد مشاور: دکتر علی فائزیان امضاء تاریخ

بسمه تعالي

دانشگاه فردوسي مشهد

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه خانم **هدی طالبیان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی مکانیک** گرایش **تبدیل انرژی** در ساعت ۱۲/۳۰ روز **۱۳۹۱/۹/۱۵** در محل **کلاس ۲۱۴** دانشکده مهندسی با حضور امضا کنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی های لازم، هیأت داوران پایان نامه نامبرده را با نمره ۱۹/۷۵ (نوزده و هفتاد و پنج صدم) و با **درجه عالی** مورد تأیید قرار داد.

عنوان رساله

بهبود مشخصات ساختاری- عملکردی و تحلیل اکسرژی بستر جاذب در چیلرهای جذب سطحی

هیئت داوران امضا

- **داور: دکتر محسن قاضی‌خانی**

  دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

- **داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر مجتبی ماموریان**

  استادیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

- **استاد راهنما: دکتر حمید نیازمند**

  استاد گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

- **استاد مشاور: دکتر علی فائزیان**

  استادیار پژوهشکده علوم و صنایع غذایی

- **مدیر گروه: دکتر حمید نیازمند**

  استاد گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

تقدیر و تشکر

اکنون که با یاری پروردگار و عنایت عالمانه و پرمهر اساتید گرانقدر توفیق نگارش این پایان‌نامه به دست آمده است فرصت را مغتنم شمرده و سپاس قلبی و بی‌پایان خود را از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر حمید نیازمند که در کمال سعه صدر و با راهنمایی های دلسوزانه و مدبرانه مرا در این عرصه یاری نمودند ابراز می‌دارم.

از جناب آقای دکتر فائزیان که زحمت مشاوره این رساله را متقبل شدند و همچنین جناب آقای دکتر ماموریان و آقای دکتر قاضی‌خانی که با حسن خلق و دلسوزی در راهنمایی و داوری این رساله کوشیدند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که بهترین پشتیبان است

به پاس قلب بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این رساله را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم

بسمه تعالی

مشخصات پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان پایان نامه: بهبود مشخصات ساختاری- عملکردی و تحلیل اکسرژی بستر جاذب در چیلرهای جذب سطحی

نام نویسنده: هدی طالبیان

نام استاد راهنما: دکتر حمید نیازمند

دانشکده: مهندسی **رشته:** مکانیک **گرایش:** تبدیل انرژی **مقطع:** کارشناسی‌ارشد

تاریخ دفاع: ۱۳۹۱/۹/۱۵ **تعداد صفحات:** ۱۳۴

چکیده:

تبرید جذب سطحی روشی جدید در تولید سرمایش با استفاده از انرژی حرارتی است. قابلیت بکارگیری منابع انرژی با ارزش گرمایی پایین و سازگاری با محیط زیست از جمله مهمترین مزایای این سیستم نسبت به انواع تراکمی و جذب حجمی می‌باشد؛ گرچه توان تبرید پایین و شرایط کارکردی تحت خلا گسترش این فناوری را محدود کرده است.

از میان اجزای این سیستم، بستر جاذب مهمترین قسمت بوده و نقش کمپرسور حرارتی را ایفا می‌کند، لذا طراحی بهینه اجزا و فرایند های آن می‌تواند به صورت چشمگیر عملکرد کل چیلر را بهبود بخشد. با توجه به گستردگی پارامترهای موثر بر عملکرد بستر، استفاده از مدل سازی عددی در مقابل روش‌های پرهزینه آزمایشگاهی اجتناب ناپذیر است. بدین منظور در مطالعه حاضر مبدلی حرارتی شامل فین‌های صفحه ای و ذرات SWS-1L که فواصل بین فین‌ها راپر می‌کنند به عنوان بستر جاذب انتخاب شده و پس از تعیین حوزه مناسب مدل‌سازی، معادلات انتقال حرارت و انتقال جرم حاکم بر اجزای بستر به صورت همزمان حل می شوند.

نتایج حاصل از بررسی تاثیر شکل هندسی فین‌ها، ارتفاع و فاصله بین فین‌ها بر عملکرد بستر به طراحی نمودارهایی منتهی می‌شود که به کمک آن‌ها می‌توان هندسه و چیدمان مطلوب فین‌ها را با توجه به شرایط کارکرد سیستم مشخص کرد. همچنین بررسی تاثیر قطر ذرات جاذب بر عملکرد بستر نشان می‌دهد زمان سیکل نسبت به قطر ذرات دارای مقداری حداقل است که این مقدار متناظر با حداکثر توان تبرید مخصوص می‌باشد. صرف نظر از مشخصات هندسی فین‌ها و دمای آب جاری در لوله‌ها، قطر بهینه در مطالعه حاضر در بازه‌ی ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر قرار خواهد گرفت. بررسی تاثیر همزمان دبی جرمی و دمای آب جاری در لوله های بستر جاذب در مراحل گرمایش و سرمایش نیز نشان می دهد که دبی جرمی بهینه آب گرم و آب سرد در این سیستم برابر نبوده و این دبی بهینه می بایست برحسب دمای آب تعیین شود.

همچنین به کمک تحلیل قانون دوم ترمودینامیک، تخریب اکسرژی در اجزای مختلف بستر و مراحل مختلف سیکل بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین نرخ تخریب اکسرژی مربوط به مراحل جرم ثابت است، اما فرایند احیا در مرحله گرمایش فشار ثابت بیشترین سهم از کل تخریب اکسرژی در یک سیکل را به خود اختصاص داده است.

کلید واژه:

۱. بستر جاذب

۲. مدلسازی عددی

۳. توان تبرید مخصوص

۴. اکسرژی

۵. فین های صفحه ای پیوسته

امضای استاد راهنما:

تاریخ:

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۲

۱-۱ سیکل ترمودینامیکی تبرید جذب سطحی- اجزا و نحوه عملکرد ۳

۱-۱-۱ مرحله گرمایش جرم ثابت (a-b) ۳

۱- ۱-۲ مرحله گرمایش فشار ثابت یا احیای فشار ثابت (b-c) ۴

۱- ۱-۳ مرحله سرمایش جرم ثابت (c-d) ۵

۱- ۱-۴ مرحله سرمایش فشار ثابت یا جذب سطحی فشار ثابت (d-a) ۵

۱-۲ بهبود عملکرد چیلر جذب سطحی ۵

۱-۲-۱ ایجاد تغییراتی در سیکل اصلی به منظور یکنواخت کردن فرآیند سرمایش ۶

۱-۲-۲ جفت‌های جاذب و جذب شونده جدید یا بهبود خواص جفت‌های موجود ۷

۱-۲-۳ طراحی بستر ماده جاذب برای بهبود انتقال جرم و انتقال حرارت ۷

۱-۲-۳-۱ مروری بر مطالعات مربوط به مدل سازی بستر مواد جاذب ۸

۱-۲-۳-۱-الف- مدل ترمودینامیکی ۸

۱-۲-۳-۱-ب- مدل‌های انتقال حرارت و انتقال جرم ۸

۱-۳ اهداف پایان نامه ۱۰

۱-۴ ساختار پایان نامه ۱۱

فصل دوم: تعریف مسئله و معادلات حاکم ۱۳

۲-۱ هندسه مورد بررسی ۱۴

۲-۲ فرضیات مدل سازی ۱۶

۲-۳ معادلات حاکم و شرایط مرزی ۱۸

۲-۳-۱ سیال ناقل حرارت ۱۸

۲-۳-۱-۱ شرایط مرزی ۱۹
۲-۳-۲ لوله فلزی ۲۰
۲-۳-۲-۱ شرایط مرزی ۲۱
۲-۳-۳ فین‌ها ۲۲
۲-۳-۳-۱ شرایط مرزی ۲۳
۲-۳-۴ بستر مواد جاذب ۲۳
۲-۳-۴-۱ معادله انرژی ۲۴
۲-۳-۴-۲ محاسبه سرعت سیال بین مواد جاذب ۲۷
۲-۳-۴-۳ محاسبه فشار در بستر ۲۸
۲-۳-۴-۴ شرایط مرزی ۲۸
۲-۳-۵ محفظه جاذب ۲۹
۲-۳-۶ کندانسور و اواپراتور ۳۰
۲-۳-۷ شرایط اولیه ۳۰
۲-۳-۸ عملکرد سیستم ۳۱

فصل سوم: روش حل عددی و ملاحظات مربوط به آن ۳۳

۳-۱ شبکه بندی ۳۳
۳-۲ گسسته سازی و حل معادلات ۳۴
۳-۳ الگوریتم حل ۳۵
۳-۴ بررسی استقلال نتایج از تعداد شبکه، گام زمانی و تعداد سیکل ۳۷
۳-۵ معیار توقف در مراحل چهارگانه سیکل ۴۰
۳-۶ اعتبار سنجی ۴۱

فصل چهارم: بررسی نتایج ۴۵

۴-۱ نحوه تاثیر برخی ملاحظات مدل سازی بر عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی ۴۶
۴-۱-۱ مدل سازی قسمت کوچکی از بستر جاذب ۴۶

۴-۱-۲ رسانندگی گرمایی معادل بستر ۴۹
۴-۱-۳ مقاومت گرمایی تماسی بین سطوح فلزی و ذرات جاذب ۵۲
۴-۲ پیکربندی هندسی بستر مواد جاذب ۵۳
۴-۲-۱ مقدمه و بررسی مطالعات پیشین ۵۳
۴-۲-۲ تاثیر هندسه فین بر مقادیر متوسط متغیرهای بستر در طول یک سیکل کاری ۵۷
۴-۲-۳ تاثیر ارتفاع و فاصله بین فین‌ها بر عملکرد بستر جاذب ۵۹
۴-۲-۴ هندسه مناسب فین با توجه به شرایط عملکردی سیستم ۶۲
۴-۳ تاثیر قطر ذرات جاذب بر عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی ۶۵
۴-۳-۱ مقدمه و بررسی مطالعات پیشین ۶۵
۴-۳-۲ ملاحظات ویژه مدل سازی ۶۶
۴-۳-۲-۱ تغییر در تخلخل بستر ۶۶
۴-۳-۲-۲ اعتبار مدل نیرو محرکه خطی ۶۸
۴-۳-۳ تاثیر قطر ذرات جاذب بر فرایند های داخلی بستر ۶۸
۴-۳-۴ تاثیر قطر ذرات جاذب بر پارامترهای عملکردی سیستم جذب سطحی ۷۰
۴-۳-۵ تاثیر ارتفاع و فاصله بین فین‌ها بر قطر بهینه ذرات جاذب ۷۱
۴-۳-۶ تاثیر دمای سیال گرم حرارتی بر قطر بهینه ذرات جاذب ۷۳
۴-۳-۷ تاثیر دمای سیال سرد حرارتی بر قطر بهینه ذرات جاذب ۷۴
۴-۴ تاثیر مشخصات سیال حرارتی ورودی بر عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی ۷۶
۴-۴-۱ مقدمه و بررسی مطالعات پیشین ۷۶
۴-۴-۲ تاثیر دمای آب گرم و آب خنک کننده بر پارامترهای عملکردی سیستم جذب سطحی ۷۹
۴-۴-۳ تاثیر دبی جرمی آب ورودی بر پارامترهای عملکردی سیستم در دماهای مختلف ۸۱
۴-۵ بررسی تخریب اکسرژی در بستر چیلر جذب سطحی ۸۵
۴-۵-۱ مفهوم اکسرژی ۸۵
۴-۵-۲ موازنه اکسرژی ۸۵
۴-۵-۳ پژوهش‌های مربوط به اعمال قانون دوم ترمودینامیک در سیستم جذب سطحی ۸۶

۴-۵-۴ موازنه اکسرژی بستر در مراحل مختلف سیکل جذب سطحی ۸۹
۴-۵-۴-۱ مرحله گرمایش جرم ثابت ۸۹
۴-۵-۴-۲ مرحله احیای فشار ثابت ۹۱
۴-۵-۴-۳ مرحله سرمایش جرم ثابت ۹۳
۴-۵-۴-۴ مرحله جذب فشار ثابت ۹۴
۴-۵-۴-۵ نتایج اعمال موازنه اکسرژی در بستر مدل سازی شده ۹۶
۴-۵-۵ تاثیر چیدمان فین ها بر بازگشت‌ناپذیری بستر جاذب ۹۸

فصل پنجم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ۱۰۳

۵-۱ جمع بندی و نتیجه گیری ۱۰۳
۵-۲ پیشنهادات ۱۰۶

پیوست الف ۱۱۰

الف -۱ گسسته سازی معادلات ۱۱۰
الف-۱-۱ سیال ناقل حرارت ۱۱۱
الف-۱-۲ لوله فلزی ۱۱۲
الف-۱-۳ فین‌ها ۱۱۵
الف-۱-۴ معادله انرژی ذرات جاذب ۱۱۸
الف-۱-۵ معادله پیوستگی ذرات جاذب ۱۲۳
الف-۱-۶ معادله مومنتوم ذرات جاذب ۱۲۵
الف-۱-۷ معادله نیرو محرکه خطی ذرات جاذب ۱۲۶
الف-۲ حل معادلات ۱۲۶

منابع ۱۲۹

فهرست اشکال

شکل ۱- ۱ نمایی از چیلر جذب سطحی و نمودار کلازیوس- کلاپیرون مربوط به آن ۴

شکل ۲- ۱ یک محفظه جاذب در چیلر جذب سطحی و مبدل‌های حرارتی تشکیل دهنده آن [۳۷]..... ۱۴

شکل ۲- ۲ نمایی از یک مبدل حرارتی مورد استفاده در چیلر جذب سطحی و حوزه مربوط به مدل سازی عددی..... ۱۵

شکل ۲- ۳ حوزه نهایی مدل سازی عددی در صفحه Y-Z (الف) مرجع [۳۷] (ب) مطالعه حاضر ۱۶

شکل ۲- ۴ شبکه بندی در محل اتصال لوله فلزی و فین ۲۰

شکل ۲- ۵ شبکه بندی در محل اتصال مواد جاذب و فین..... ۲۲

شکل ۲- ۶ شماره سطوح اطراف حوزه حل مربوط به فین‌ها و بستر متخلخل..... ۲۳

شکل ۳- ۱ نمایش شبکه بندی قسمتی از حوزه حل (الف) صفحه X-Z (ب) صفحه X-Y..... ۳۴

شکل ۳- ۲ الگوریتم حل سیستم معادلات حاکم براجزای بستر جاذب..... ۳۶

شکل ۳- ۳ تغییرات مقدار جذب میانگین نسبت به زمان در یک سیکل کاری به ازای مقادیر مختلف تراکم شبکه ۳۸

شکل ۳- ۴ تاثیر گام زمانی بر مدت زمان مرحله جذب‌جرم ثابت..... ۳۹

شکل ۳- ۵ تاثیر گام زمانی بر مدت زمان مرحله جذب فشار ثابت..... ۳۹

شکل ۳- ۶ تغییرات دمای متوسط بستر در طول یک سیکل کاری در مدل عددی و مقایسه با نتایج تجربی [۵۱]..... ۴۲

شکل ۳- ۷ تغییرات فشار متوسط بستر در طول یک سیکل کاری در مدل عددی و مقایسه با نتایج تجربی [۵۱]..... ۴۲

شکل ۴- ۱ تغییرات دمای میانگین بستر در طول یک سیکل کاری (مقایسه مدل سازی کل بستر و مدل سازی بخش کوچکی از بستر) ۴۸

شکل ۴- ۲ تغییرات فشار میانگین بستر در طول یک سیکل کاری (مقایسه مدل سازی کل بستر و مدل سازی بخش کوچکی از بستر) ۴۸

شکل ۴- ۳ تغییرات دمای سیال حرارتی خروجی از بستر در طول یک سیکل کاری (مقایسه مدل سازی کل بستر و مدل سازی بخش کوچکی از بستر) ۴۸

شکل ۴- ۴ تغییرات فشار میانگین بر حسب دمای میانگین بستر در یک سیکل کاری (مقایسه مدل سازی کل بستر و مدل سازی بخش کوچکی از بستر) ۴۸

شکل ۴- ۵ رسانندگی گرمایی متوسط بستر در حالت ثابت و متغیر در طول یک سیکل کاری..... ۵۰

شکل ۴- ۶ تغییرات دمای متوسط بستر در طول یک سیکل کاری برای دو حالت رسانندگی گرمایی متغیر و ثابت ۵۱
شکل ۴- ۷ تغییرات فشار متوسط بستر در طول یک سیکل کاری برای دو حالت رسانندگی گرمایی متغیر و ثابت ۵۱
شکل ۴- ۸ تغییرات دمای متوسط بستر در طول یک سیکل کاری با در نظر گرفتن مقاومت گرمایی تماسی و بدون آن..۵۳
شکل ۴- ۹ تغییرات فشار متوسط بستر در طول یک سیکل کاری با در نظر گرفتن مقاومت گرمایی تماسی و بدون آن...۵۳
شکل ۴-۱۰ هندسه های مختلف فین‌ها در بستر مدل سازی شده شامل ۳ فین (۱) فین مربعی (۲) فین حلقوی با مشخصه طولی مشابه با فین مربعی (۳) فین حلقوی با مشخصه جرمی مشابه با فین مربعی.....۵۶
شکل ۴-۱۱ تغییرات دمای متوسط بستر نسبت به زمان در بسترهایی با فین‌های حلقوی و مربعی.....۵۷
شکل ۴- ۱۲ تغییرات فشار متوسط بستر نسبت به زمان در بسترهایی با فین‌های حلقوی و مربعی ۵۷
شکل ۴- ۱۳ تغییرات متوسط جرم سیال عامل جذب شده نسبت به زمان در بسترهایی با فین‌های حلقوی و مربعی.....۵۸
شکل ۴- ۱۴ تغییرات دبی جرمی سیال عامل خروجی و ورودی به بستر نسبت به زمان در بسترهایی با فین‌های حلقوی و مربعی.....۵۸
شکل ۴- ۱۵ تغییرات COP نسبت به فاصله بین فین‌ها به ازای مقادیر مختلف ارتفاع فین‌های مربعی و مقایسه با فین‌های حلقوی با مشخصه طولی یکسان ۶۰
شکل ۴- ۱۶ تغییرات SCP نسبت به فاصله بین فین‌ها به ازای مقادیر مختلف ارتفاع فین‌های مربعی و مقایسه با فین‌های حلقوی با مشخصه طولی یکسان ۶۰
شکل ۴- ۱۷ تغییرات COP نسبت به فاصله بین فین‌ها به ازای مقادیر مختلف ارتفاع فین‌های مربعی و مقایسه با فین‌های حلقوی با مشخصه جرمی یکسان ۶۰
شکل ۴- ۱۸ تغییرات SCP نسبت به فاصله بین فین‌ها به ازای مقادیر مختلف ارتفاع فین‌های مربعی و مقایسه با فین‌های حلقوی با مشخصه جرمی یکسان ۶۰
شکل ۴- ۱۹ تاثیر تغییر ارتفاع فین‌ها بر مدت زمان سیکل جذب سطحی در بستری با فین‌های مربعی و حلقوی.....۶۲
شکل ۴- ۲۰ تاثیر تغییرفاصله بین فین‌ها بر مدت زمان سیکل جذب سطحی در بستری با فین‌های مربعی و حلقوی.....۶۲
شکل ۴- ۲۱ تغییرات SCP و COP با ارتفاع فین در فواصل مختلف بین فین‌ها برای دو هندسه مربعی و حلقوی۶۳ شکل ۴- ۲۲ تغییرات SCP بر حسب COP در فواصل مختلف بین فین‌ها برای دو هندسه مربعی و حلقوی.....۶۳
شکل ۴- ۲۳ تغییرات فشار در جهت ضخامت بستر به ازای قطر مختلف ذرات جاذب در لحظات اولیه مرحله گرمایش فشار ثابت.....۶۹
شکل ۴- ۲۴ تفاوت میزان جذب متوسط از جذب تعادلی به ازای قطر مختلف ذرات جاذب در مرحله سرمایش.....۶۹

شکل ۴- ۲۵ تغییرات SCP و زمان سیکل نسبت به قطر ذرات جاذب ۷۱
شکل ۴- ۲۶ تغییرات SCP سیستم نسبت به قطر ذرات جاذب به ازای ارتفاع مختلف فین‌های بستر ۷۲
شکل ۴- ۲۷ تغییرات SCP سیستم نسبت به قطر ذرات جاذب به ازای فواصل مختلف بین فین‌های بستر ۷۲
شکل ۴- ۲۸ تغییرات زمان سیکل نسبت به قطر ذرات در دمای مختلف آب گرم ورودی ۷۳
شکل ۴- ۲۹ تغییرات SCP سیستم نسبت به قطر ذرات در دمای مختلف آب گرم ورودی ۷۳
شکل ۴- ۳۰ تغییرات زمان سیکل با قطر ذرات به ازای دمای مختلف آب خنک کننده ورودی **۷۵**
شکل ۴- ۳۱ تغییرات SCP سیستم با قطر ذرات به ازای دمای مختلف آب خنک کننده ورودی ۷۵
شکل ۴- ۳۲ تغییرات میزان جذب سیال عامل با تغییر فشار بستر به ازای دو دمای مختلف(t= ۵۰۰s) ۷۹
شکل ۴- ۳۳ تغییرات COP سیستم با دمای آب گرم ورودی (TH) به ازای مقادیر مختلف دمای آب سرد (TC) ۸۰
شکل ۴- ۳۴ تغییرات SCP سیستم با دمای آب گرم ورودی (TH) به ازای مقادیر مختلف دمای آب سرد (TC) ۸۰
شکل ۴- ۳۵ تغییرات COP سیستم بر حسب دبی جرمی آب گرم ورودی (mh) در مقادیر مختلف دبی جرمی آب خنک کننده (mc)- (۳۰°C ,TC=۲۰°C ,TH=۹۰°C) ۸۲
شکل ۴-۳۶ تغییرات COP سیستم بر حسب دبی جرمی آب گرم ورودی (mh) در مقادیر مختلف دبی جرمی آب خنک کننده (mc)- (۳۰°C ,TC=۲۰°C ,TH=۷۰°C) ۸۲
شکل ۴- ۳۷ تغییرات SCP سیستم بر حسب دبی جرمی آب گرم ورودی (mh) در مقادیر مختلف دبی جرمی آب خنک کننده (mc)- (۳۰°C ,TC=۲۰°C ,TH=۹۰°C) ۸۳
شکل ۴- ۳۸ تغییرات SCP سیستم بر حسب دبی جرمی آب گرم ورودی (mh) در مقادیر مختلف دبی جرمی آب خنک کننده (mc)- (۳۰°C ,TC=۲۰°C ,TH=۷۰°C) ۸۳
شکل ۴- ۳۹ نمای ساده‌سازی شده از بستر جاذب برای محاسبه تخریب اکسرژی در مرحله گرمایش جرم ثابت ۸۹
شکل ۴- ۴۰ نمای ساده‌سازی شده از بستر جاذب برای محاسبه تخریب اکسرژی در مرحله احیای فشار ثابت ۹۱
شکل ۴- ۴۱ نمای ساده‌سازی شده از بستر جاذب برای محاسبه تخریب اکسرژی در مرحله سرمایش جرم ثابت ۹۳
شکل ۴- ۴۲ نمای ساده‌سازی شده از بستر جاذب برای محاسبه تخریب اکسرژی در مرحله جذب فشار ثابت ۹۴
شکل ۴- ۴۳: تغییر توان تبریدکلی و نرخ‌متوسط تخریب اکسرژی در فرایند احیا فشارثابت برحسب ارتفاع فین‌های‌بستر ۹۹
شکل ۴- ۴۴ تغییرات ضریب عملکرد و کل تخریب اکسرژی در فرایند احیای فشار ثابت بر حسب ارتفاع فین‌های بستر ..۹۹

شکل ۴- ۴۵: تغییرات توان تبرید کلی و نرخ متوسط تخریب اکسرژی در فرایند احیا فشار ثابت برحسب فاصله بین فین‌های بستر ۱۰۰
شکل ۴- ۴۶ تغییرات ضریب عملکرد و کل تخریب اکسرژی در فرایند احیا فشارثابت برحسب فاصله بین فین‌هایبستر ۱۰۱
شکل الف- ۱ معرفی شبکه های اطراف حجم کنترل ۱۱۱

فهرست علائم

نماد	نام فارسی	نام انگلیسی	واحد
A	مساحت	Area	m^2
C_p	ظرفیت گرمای ویژه در فشار ثابت(بخار)	Specific heat in constant pressure	$J/(kg.K)$
C	ظرفیت گرمای ویژه (جامدات و مایعات)	Specific heat(solid and liquid)	$J/(kg.K)$
COP	ضریب عملکرد	Coefficient of performance	-
CS	سطح کنترل	Control surface	m^2
CV	حجم کنترل	Control volume	m^3
D_{eq}	ضریب پخش معادل نودسن	Equivalent Knudsen diffusivity	m^2/s
D_i	قطر داخلی لوله فلزی	Metal tube internal diameter	m
D_k	ضریب پخش نودسن	Knudsen diffusivity	m^2/s
D_m	ضریب پخش مولکولی	Molecular diffusivity	m^2/s
D_o	قطر خارجی لوله فلزی	Metal tube external diameter	m
d_p	قطر ذرات جاذب	Particle diameter	m
d_{pore}	قطر معادل فضاهای خالی در بستر	Equivalent pore diameter	m
D_{so}	ثابت پخشندگی سطحی	Pre-exponent constant of surface diffusivity	m^2/s
E_a	انرژی فعالسازی	Activation energy of surface diffusion	J/mol
Ex	اکسرژی	Exergy(heat exergy)	J
f	ضریب اصطکاک	Friction factor	-
F	انرژی آزاد جذب	Free sorption energy	J/mol
FH	ارتفاع فین	Fin height	m
FS	فاصله بین فین ها	Fin space	m
FT	ضخامت فین	Fin thickness	m
K_{app}	نفوذپذیری ظاهری بستر جاذب	Apparent permeability of adsorbent bed	m^2
K_d	نفوذپذیری بستر	Bed permeability	m^2
L	طول بستر جاذب	The length of adsorbent bed	m

h_f	ضریب انتقال حرارت جابجایی	Convective heat transfer coefficient	$w/(m^2.K)$
h	انتالپی	Enthalpy	J
L_v	گرمای نهان تبخیر	Latent heat of vaporization	J/kg
m	جرم	Mass	kg
$\dot{m}$	دبی جرمی	Mass flow rate	kg/s
mh	دبی جرمی آب گرم‌کننده	Heating water mass flow rate	kg/s
mc	دبی جرمی آب خنک‌کننده	Cooling water mass flow rate	kg/s
n	بردار عمود بر صفحه	Normal vector	-
N	جذب تعادلی	Equilibrium uptake	mole/mole
P	فشار	Pressure	Pa
P_c	فشار بحرانی	Critical pressure	Pa
M	جرم مولی	Molar mass	kg/mole
Nu	عدد ناسلت	Nusselt number	-
Pr	عدد پرانتل	Prandtl number	-
Q	انرژی حرارتی	Heat	J
r	محور شعاعی	Radial axis	m
R_i	شعاع داخلی لوله فلزی	Metal tube internal radius	m
R_{p}	شعاع ذرات جاذب	Particle radius	m
Re	عدد رینولدز	Reynolds number	-
R_o	شعاع خارجی لوله فلزی	Metal tube external radius	m
$R''_{t,c}$	مقاومت گرمایی تماسی	Thermal contact resistance	m^2K/W
R_u	ثابت جهانی گازها	Universal gas constant	$J/mol.K$
R_g	ثابت گاز	Gas constant	$J/kg.K$
Res	باقیمانده	Residual	-
S	انتروپی	Entropy	J/K
SCP	ظرفیت سرمایش مخصوص	Specific Cooling Power	w/kg
t	زمان	Time	s
T	دما	Temperature	K
T_c	دمای بحرانی	Critical temperature	K
TC	دمای آب خنک‌کننده ورودی	Heating water temperature	K

TCP	توان تبرید کلی	Total cooling power	W
TH	دمای آب گرم‌کننده ورودی	Cooling water temperature	K
u	سرعت	Velocity	m/s
U	انرژی داخلی	Internal energy	J
w	مقدار متوسط سیال عامل جذب شده	Average adsorbate content	$kg_{adsorbate}/kg_{adsorbent}$
w^*	سیال عامل جذب شده در حالت تعادلی	Equilibrium uptake	$kg_{adsorbate}/kg_{adsorbent}$
w_∞	حداکثر سیال قابل جذب	maximum uptake	$kg_{adsorbate}/kg_{adsorbent}$
z	محور طولی	Axial coordinate	m
علائم یونانی			
ΔH	گرمای جذب	Heat of adsorption	J/kg
∇	اپراتور دلتا	Delta operator	1/m
ε	اکسرژی جریان جرم	Mass exergy	J
ε_t	تخلخل کلی	Total porosity	-
ε_b	تخلخل بستر	Bed porosity	-
ε_p	تخلخل ذرات	Particle porosity	-
λ	رسانندگی گرمایی	Thermal conductivity	w/(m.K)
μ	لزجت	Viscosity	$N.s/m^2$
σ	قطر برخورد	Collision diameter for Lennard-Jones potential	Å
τ	ضریب پیچیدگی	Tortuosity factor	-
Ω	انتگرال برخورد	Collision integral	-
ρ	چگالی	Density	kg/m^3
η	راندمان	Efficiency	-
Π	تخریب اکسرژی	Exergy loss	J
δ	فاصله	Distance	m
$\forall$	حجم	Volume	m^3
زیرنویس ها			
a	سیال عامل جذب شده	Adsorbate	
b	بستر جاذب	Adsorbent Bed	

B	سمت پایین	Bottom	
$cham$	محفظه	Chamber	
$cond$	کندانسور	Condenser	
E	سمت شرقی	East	
ex	اکسرژی	Exergy	
$evap$	اواپراتور	Evaporator	
f	خروجی	Outlet	
$fluid$	سیال ناقل حرارت	Fluid	
fin	فین	Fin	
ref	مرجع	Reference	
g	فاز گاز	Gaseous phase	
gen	تولید شده	Generated	
i	ورودی	Inlet	
in	ورودی	Inlet	
$interface$	سطح مشترک	Interface	
N	سمت شمال	North	
out	خروجی	Outlet	
P	ذره، مرکز حجم کنترل	Particle, Center of control volume	
s	ماده جامد جاذب	Solid adsorbent	
S	سمت جنوب	South	
sat	اشباع	Saturation	
T	سمت بالا	Top	
$tube$	لوله فلزی	Metal tube	
W	سمت غربی	West	