بسم الله الرحمن الرحیم

پژوهشگاه مواد و انرژی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی انرژی های تجدیدپذیر

موضوع

طراحی و ساخت خشک کن بستر شناور خورشیدی ناپیوسته و بررسی عملکرد آن

استاد راهنما:

دکتر محمد امینی

نگارنده:

فاطمه ولی

کد شناسه پروژه:

۵۷۸۹۵۱

سال تحصیلی۱۳۹۱-۱۳۹۰

حق تالیف/گردآوری و تحقیق

این پروژه تحقیقاتی به شماره شناسه ۵۷۸۹۵۱ در پژوهشگاه مواد و انرژی به ثبت رسیده است و کلیه دستاوردهای تحقیقاتی شامل نتایج نظری، نتایج علمی و عملی، دانش فنی و سایر موارد مربوط به این پروژه متعلق به پژوهشگاه مواد و انرژی می باشد. بهره برداری از نتایج پروژه برای موسسات دولتی و غیر دولتی با مجوز پژوهشگاه مواد و انرژی و درج نام پژوهشگاه مواد و انرژی امکان پذیر است.

تأییدیّه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم: فاطمه ولی

را با عنوان: طراحی و ساخت خشک کن بستر شناور خورشیدی ناپیوسته و بررسی عملکرد آن

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی
۱- استاد راهنما	دکتر محمد امینی	استادیار
۲- استاد ممتحن	دکتر عزت ا... آزاد	دانشیار
۳- استاد ممتحن	دکتر امیرحسین زمزمیان	استادیار
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر فرح سادات هالک	استادیار

تقدیم به:

همسر مهربانم، اسوه صبر و ایثار

و خانواده عزیزم که وجودشان، تکیه گاه استوار زندگیم است،

سایه شان مستدام باد.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای برتر و بزرگ را، خدایی که اندیشه های ژرف، حقیقت ذات او را نمی توانند درک کنند، و گمان زیرک ها آن را نمی یابد، آغازی است که نهایتی ندارد تا به آخر رسد، و پایانی ندارد تا ایام او سپری گردد.

از زحمات استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر محمد امینی که راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشته و در تمامی مراحل با بردباری و سعه صدر موجب پیشبرد این کار شده اند، تشکر می نمایم.

از کلیه اساتید محترم پژوهشکده انرژی به خصوص جناب آقای دکتر زمزمیان، جناب آقای دکتر عباسپور، جناب آقای مهندس حقگو به جهت راهنمایی های علمی ارزنده شان در تمامی مراحل تقدیر و تشکر به عمل می آورم.

تقریبا تمامی قسمت های ساخت و ارزیابی این خشک کن در پژوهشگاه مواد و انرژی صورت گرفته و این کار بدون همکاری های ارزنده سرکار خانم دکتر سنگ پور، جناب آقای دکتر عباسپور، جناب آقای دکتر هاشمی نژاد، جناب آقای مهندس حقگو، جناب آقای مهندس کاووسی، جناب آقای مهندس حق بیان، جناب آقای امیری، جناب آقای رزم امکان پذیر نبوده است، از زحمات ایشان برای دسترسی به تجهیزات آزمایشگاهی و ساخت کمال تشکر را دارم.

از زحمات بی دریغ و مساعدت های جناب آقای مهندس بهرام پور و همکاران محترم ایشان در کارگاه جهت تسریع در ساخت این خشک کن و حمایت های ایشان بسیار سپاسگزارم.

از کمک ها و همکاری های دوستان بزرگوار سرکار خانم مهندس نسترن برهمتی، سرکار خانم مهندس سارا تودشکی، سرکار خانم مهندس الهام غلامعلی، سرکار خانم مهندس الهام ابوحمزه، جناب آقای مهندس آرش حدادیان، جناب آقای مهندس میلاد تاجیک، جناب آقای مهندس حسن صباحی، جناب آقای مهندس حسین بانگی، جناب آقای مهندس احسان ایمانی و جناب آقای مهندس محسن منصوری در تمامی مراحل، کمال تشکر را داشته و برای ایشان آرزوی موفقیت های روزافزون را دارم.

از دوستان عزیزم در واحد۶ سرکار خانم مهندس مرجان محمدعلیزاده، سرکار خانم مهندس مریم سیرتی، سرکار خانم مهندس مریم نجفی، سرکار خانم مهندس سپیده سعادت، سرکار خانم مهندس حکیمه صالحی، سرکار خانم مهندس ماریه تازیکه، سرکار خانم مهندس آذین فروزنده و سرکار خانم مهندس مریم فهار که از هیچ تلاشی فروگذار نکرده و همواره حامی بنده بوده اند بسیار سپاسگزارم و سعادت و بهروزی را از خداوند منان برای ایشان خواهانم.

در انتها از کمک های بی دریغ همسر مهربان، پدر و مادر فداکار، خواهر عزیز و برادران بزرگوارم در طول این دوره و تلاش برای پیشبرد سریع تر این کار متشکرم و از خداوند رحیم سایه مستدامشان را خواهانم.

چکیده

در این پژوهش خشک کن خورشیدی طراحی شده از نوع همرفت اجباری بوده، و مزیت اصلی خشک کن بستر سیال خورشیدی ناپیوسته انتقال حرارت بالا و کاهش زمان خشک شدن می باشد. در محاسبات خشک کن از مقادیر انرژی تابشی ثبت شده در پژوهشگاه مواد و انرژی و اطلاعات هواشناسی کرج استفاده شده است. میزان هوای گرم برای خشک کردن و سیالیت ذرت ۰/۱۴۶ مترمکعب بر ثانیه می باشد. برای جابجایی هوا در طول مسیر، غلبه بر افت فشارها و سیال کردن محصولات در بستر خشک کن، از یک دمنده حلزونی استفاده شده است. برای گرم کردن هوا از سه عدد جمع کننده خورشیدی در مجموع به مساحت ۵/۴ مترمربع ودر شیب ۲۵ درجه استفاده شده است. محفظه خشک کن استوانه ای است که در زیر آن یک صفحه توزیع کننده هوای گرم قرار می گیرد. ارزیابی خشک کن در تاریخ ۲۶ تیر الی ۲ مرداد ۱۳۹۰، از ساعت ۱۰:۳۰ تا ۱۶:۳۰ صورت گرفته است. این آزمایشات با دو نوع صفحه توزیع کننده با قطر روزنه ۲ و ۴ میلی متر، سرعت هوای گرم ۳/۵ و ۴/۵ متر بر ثانیه، ارتفاع بستر ۱و۲ سانتی متر در سه زمان قبل از ظهر، ظهر و بعد از ظهر انجام شده است. نتایج نشان می دهد نرخ خشک شدن ذرت با افزایش ارتفاع بستر، کاهش سرعت هوا، استفاده از توزیع کننده با قطر روزنه ۴ میلی متر و قبل از ظهر (کاهش دمای هوای گرم) کاهش یافته و زمان خشک شدن افزایش می یابد.

کلید واژه: خشک کن بستر سیال خورشیدی، جمع کننده انرژی خورشیدی، میزان تابش خورشیدی، محتوای رطوبت، نرخ خشک شدن.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ل

فهرست شکل‌ها ..... م

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ع

مقدمه ۲

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- هدف ۵

فصل ۲- مروری بر منابع مطالعاتی ۷

۲-۱- تاریخچه کاربرد انرژی خورشیدی ۷

۲-۲- فرآیند خشک کردن و هدف از آن ۸

۲-۲-۱- دوره های خشک کردن محصولات ۱۰

۲-۲-۱-۱- دوره گرمایش ۱۱

۲-۲-۱-۲- دوره خشک شدن با نرخ ثابت ۱۱

۲-۲-۱-۳- دوره خشک شدن با نرخ نزولی ۱۱

۲-۳- انتقال حرارت در خشک کن ها ۱۳

۲-۳-۱- انتقال حرارت از طریق رسانش ۱۳

۲-۳-۲- انتقال حرارت از طریق همرفت ۱۴

۲-۳-۳- انتقال حرارت از طریق تابش (تشعشع) ۱۵

۲-۴- نمودار رطوبت سنجی و کاربرد آن در تجزیه و تحلیل خشک کن ها ۱۶

۲-۵- طبقه بندی خشک کن ها بر حسب دمای کاری ۱۷

۲-۵-۱- خشک کن های با دمای بالا ۱۷

۲-۵-۲- خشک کن های با دمای پایین ۱۸

۲-۶- طبقه بندی خشک کن ها ۱۸

۲-۷- خشک کن های خورشیدی و طبقه بندی آن ها ۲۰

۲-۷-۱- خشک کن های خورشیدی غیرفعال (همرفت طبیعی) ۲۲

۲-۷-۱-۱- خشک کن های خورشیدی غیرفعال غیر مستقیم ۲۳

۲-۷-۱-۲- خشک کن های خورشیدی غیرفعال مستقیم ۲۴

۲-۷-۱-۳- خشک کن های خورشیدی غیرفعال ترکیبی ۲۷
۲-۷-۲- خشک کن های خورشیدی فعال (با همرفت اجباری) ۳۰
۲-۷-۲-۱- خشک کن های خورشیدی فعال مستقیم ۳۰
۲-۷-۲-۲- خشک کن های خورشیدی فعال غیرمستقیم ۳۲
۲-۷-۲-۳- خشک کن های خورشیدی فعال ترکیبی ۳۳
۲-۷-۳- خشک کن های خورشیدی متداول در آسیا ۳۴
۲-۷-۴- خشک کن های خورشیدی پیشرفته ۳۴
۲-۷-۴-۱- خشک کن کابینتی با صفحه جاذب تخت معکوس ۳۵
۲-۷-۴-۲- خشک کن خورشیدی قابل حمل با طبقات متعدد ۳۵
۲-۷-۴-۳- خشک کن خورشیدی نوع پلکانی ۳۶
۲-۷-۴-۴- خشک کن خورشیدی استوانه ای ستونی دوار ۳۷
۲-۷-۴-۵- خشک کن خورشیدی با جمع کننده های ردیاب خورشید و دمنده DC ۳۸
۲-۷-۵- سیستم های کمکی در خشک کن های خورشیدی ۳۸
۲-۸- جمع کننده های انرژی خورشیدی ۳۹
۲-۸-۱- جمع کننده های تخت خورشیدی بدون پوشش شفاف ۴۰
۲-۸-۲- جمع کننده های تخت خورشیدی پوشش دار ۴۱
۲-۸-۲-۱- جمع کننده پوشش دار با عبور هوا از بالای صفحه جاذب ۴۱
۲-۸-۲-۲- جمع کننده پوشش دار با عبور هوا از زیر صفحه جاذب ۴۲
۲-۸-۲-۳- جمع کننده پوشش دار با صفحه جاذب معلق ۴۲
۲-۸-۲-۴- جمع کننده پوشش دار با صفحه جاذب مشبک ۴۴
۲-۹- سیالیت و خشک کن های بستر سیال ۴۵
۲-۹-۱- پدیده سیالیت ۴۵
۲-۹-۲- مزایا و معایب بسترهای سیال برای عملیات صنعتی ۴۷
۲-۹-۳- کیفیت سیالیت ۴۸
۲-۹-۴- طبقه بندی Geldart از ذرات ۴۹
۲-۹-۵- کاربردهای خشک کن بسترسیال ۴۹
۲-۹-۶- انواع خشک کن های بستر سیال ۵۰
۲-۹-۶-۱- خشک کن های بستر سیال مرسوم ۵۱
۲-۹-۶-۱-۱- خشک کن بستر سیال ناپیوسته ۵۱
۲-۹-۶-۱-۲-خشک کن بستر سیال نیمه پیوسته ۵۱
۲-۹-۶-۱-۳- خشک کن بستر سیال پیوسته Well-Mixed ۵۲
۲-۹-۶-۱-۴- خشک کن بستر سیال plug flow ۵۳
۲-۹-۶-۲- خشک کن های بستر سیال اصلاح شده ۵۴

۲-۹-۶-۲-۱- خشک کن بستر سیال ارتعاشی ۵۴
۲-۹-۶-۲-۲- خشک کن بستر سیال همزن دار(اختلاطی)/سیالیت چرخشی ۵۵
۲-۹-۶-۲-۳- خشک کن بستر سیال با ذرات ساکن ۵۶
۲-۹-۶-۲-۴- خشک کن بستر سیال فواره ای ۵۷

فصل ۳- فعالیت های تجربی ۶۰

۳-۱ - محاسبات و طراحی ۶۰
۳-۱-۱- شرایط تابش و اقلیمی منطقه ۶۰
۳-۱-۲- خصوصیات ذرات ۶۵
۳-۱-۲-۱- اندازه ذرات ۶۵
۳-۱-۲-۲- کرویت ۶۷
۳-۱-۲-۳- جز تهی بستر ۶۷
۳-۱-۲-۴- چگالی خالص و توده ای ۶۷
۳-۱-۳- محاسبه ارتفاع بستر در شرایط حداقل سیالیت ۶۸
۳-۱-۴- محاسبه رطوبت ذرات ۶۹
۳-۱-۵- خصوصیات ترمودینامیکی هوای گرم ۷۱
۳-۱-۶- بار گرمایی مورد نیاز برای خشک کردن ۷۲
۳-۱-۷- حداقل سرعت سیالیت و سرعت کاری ۷۲
۳-۱-۸- دبی هوای گرم در سیالیت کامل ۷۲
۳-۱-۹- توان حرارتی جمع کننده خورشیدی ۷۳
۳-۱-۱۰- سطح جمع کننده خورشیدی ۷۳
۳-۱-۱۱- محاسبه افت فشارو قدرت دمنده هوا ۷۴
۳-۲- ساخت تجهیزات ۷۷
۳-۲-۱- ساخت جمع کننده خورشیدی ۷۷
۳-۲-۲- ساخت محفظه خشک کن ۷۸
۳-۲-۳- ساخت کانال هوا ۷۸
۳-۲-۴- نصب تجهیزات اندازه گیری ۷۹
۳-۲-۵- اتصال تجهیزات ساخته شده ۷۹
۳-۳- ارزیابی خشک کن ۸۲
۳-۳-۱- روش آزمایش ۸۲
۳-۳-۲- محتوای رطوبت و نرخ خشک شدن ۸۵
۳-۳-۳- نمودارهای نرمال نرخ خشک شدن ۸۶
۳-۳-۴- انرژی مفید و بازده جمع کننده ۸۶

۳-۳-۵- بازده انرژی در خشک کن (بازده سیستم)..... ۸۶

فصل۴- بحث و نتایج..... ۸۹

۴-۱- میزان تابش خورشیدی..... ۸۹

۴-۲- تغییرات دما..... ۹۲

۴-۳- بازده جمع کننده خورشیدی..... ۹۷

۴-۴- بازده انرژی خشک کن (بازده سیستم)..... ۱۰۰

۴-۵- خشک شدن محصول..... ۱۰۲

۴-۶- سینتیک خشک شدن..... ۱۰۶

۴-۷- منحنی اول و دوم خشک شدن..... ۱۰۷

۴-۸- منحنی نرمال نرخ خشک شدن..... ۱۱۲

۴-۹- مقایسه بین ذرت های خشک شده توسط خشک کن بستر سیال خورشیدی با ذرت های خشک شده تحت تابش مستقیم خورشیدی..... ۱۱۸

فصل۵- نتایج و پیشنهادها..... ۱۲۱

۵-۱- نتایج ۱۲۱

۵-۲- پیشنهادها..... ۱۲۳

ضمیمه أ -نمودار رطوبت سنجی..... ۱۲۵

ضمیمه ب -شماره روز، روز وسط ماه و زاویه میل خورشیدی..... ۱۲۶

ضمیمه ج - جدول گرمای نهان تبخیر آب..... ۱۲۷

ضمیمه د - جدول خواص ترمودینامیکی هوا..... ۱۲۸

ضمیمه ه - نقشه و اندازه های دقیق (سازه فلزی، نگهدارنده جمع کننده خورشیدی، قاب آلومینیومی جمع کننده خورشیدی، صفحه جاذب خورشیدی و کانال اصلی هوای گرم از سه نما)..... ۱۲۹

فهرست مراجع..... ۱۳۰

واژه نامه فارسی به انگلیسی..... ۱۲۷

واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۱۳۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۳- ۱: میانگین تابش خورشیدی در سطح افق مربوط به ساعت ۱۳-۱۲ روز وسط ماه در ۶ ماه بهار و تابستان سال های ۲۰۰۵-۲۰۰۰..... ۶۰
جدول۳- ۲: میانگین تابش خورشیدی کل روی سطح جمع کننده با شیب ۲۵ درجه مربوط به ساعت ۱۳-۱۲ روز وسط ماه در ۶ ماه بهار و تابستان سال های ۲۰۰۵-۲۰۰۰..... ۶۳
جدول۳- ۳: گرمای نهان تبخیر آب وخواص ترمودینامیکی هوای گرم..... ۷۱
جدول۳- ۴: مقادیر عددی متغیرهای مورد آزمایش برای خشک کردن ذرت در خشک کن بستر سیال خورشیدی ناپیوسته..... ۸۱

جدول۴- ۱: مقدار متوسط شدت انرژی تابشی در ساعات آزمایش بر سطح افقی و شیب دار ۲۵ درجه ۸۸
جدول۴- ۲: بازده ساعتی جمع کننده خورشیدی..... ۹۴
جدول۴- ۳: بازده انرژی خشک کن (بازده سیستم) در ساعات آزمایش..... ۹۷
جدول۴- ۴: مقادیر محتوای رطوبت بحرانی اولیه و ثانویه در شرایط مختلف کاری..... ۱۰۸
جدول۴- ۵: ضرایب رگرسیون توابع مختلف برازش شده برای دوره نرخ نزولی اولیه..... ۱۱۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: اطلس تابش خورشیدی ایران..... ۳

شکل۲- ۱: منحنی محتوای رطوبت در مقابل زمان..... ۱۲
شکل۲- ۲: منحنی نرخ خشک شدن در مقابل محتوای رطوبت..... ۱۳
شکل۲- ۳: نمایش شماتیک خشک شدن در نمودار رطوبت سنجی..... ۱۶
شکل۲- ۴: طبقه بندی خشک کن ها..... ۱۹
شکل۲- ۵: طبقه بندی خشک کن های خورشیدی ۲۱
شکل۲- ۶: طبقه بندی طرحواره خشک کن های خورشیدی..... ۲۱
شکل۲- ۷: اجزای ساختمانی خشک کن خورشیدی غیرفعال غیرمستقیم..... ۲۳
شکل۲- ۸: اجزای ساختمانی خشک کن خورشیدی غیرفعال مستقیم..... ۲۴
شکل۲- ۹: خشک کن خورشیدی کابینتی..... ۲۵
شکل۲- ۱۰: خشک کن خورشیدی گلخانه ای غیرفعال..... ۲۶
شکل۲- ۱۱: خشک کن خورشیدی غیرفعال ترکیبی..... ۲۸
شکل۲- ۱۲: طرحی از خشک کن خورشیدی غیرفعال ترکیبی با جمع کننده گرانیتی..... ۲۷
شکل۲- ۱۳: خشک کن خورشیدی غیرفعال ترکیبی با تهویه باد..... ۲۸
شکل۲- ۱۴: خشک کن خورشیدی فعال مستقیم..... ۳۰
شکل۲- ۱۵: خشک کن خورشیدی فعال گلخانه ای با محفظه جاذب داخلی..... ۳۲
شکل۲- ۱۶: خشک کن خورشیدی فعال غیرمستقیم..... ۳۲
شکل۲- ۱۷: خشک کن خورشیدی تونلی..... ۳۳
شکل۲- ۱۸: خشک کن خورشیدی کابینتی با صفحه جاذب تخت معکوس..... ۳۴
شکل۲- ۱۹: خشک کن خورشیدی قابل حمل با طبقات متعدد..... ۳۵
شکل۲- ۲۰: خشک کن خورشیدی پلکانی..... ۳۷
شکل۲- ۲۱: خشک کن خورشیدی استوانه ای ستونی دوار..... ۳۶
شکل۲- ۲۲: خشک کن خورشیدی با سیستم ردیاب و دمندهDC..... ۳۷
شکل۲- ۲۳: سیستم های کمکی برای خشک کن های خورشیدی..... ۳۸
شکل۲- ۲۴: جمع کننده تخت خورشیدی بدون پوشش شفاف..... ۴۰

شکل۲- ۲۵: جمع کننده پوشش دار با عبور هوا از بالای صفحه جاذب..... ۴۱
شکل۲- ۲۶: جمع کننده پوشش دار با عبور هوا از زیر صفحه جاذب..... ۴۱
شکل۲- ۲۷: جمع کننده پوشش دار با صفحه جاذب معلق، الف) عبور هوای هم جهت، ب) عبور هوای غیر هم جهت..... ۴۲
شکل۲- ۲۸: جمع کننده پوشش دار با صفحه جاذب مشبک..... ۴۴
شکل۲- ۲۹: انواع مختلف سیالیت با افزایش سرعت گاز یا مایع..... ۴۶
شکل۲- ۳۰: خشک کن بستر سیال ناپیوسته..... ۵۰
شکل۲- ۳۱: خشک کن بستر سیال نیمه پیوسته..... ۵۱
شکل۲- ۳۲: خشک کن بستر سیال پیوسته well-mixed..... ۵۳
شکل۲- ۳۳: خشک کن بستر سیال Plug flow..... ۵۳
شکل۲- ۳۴: خشک کن بستر سیال ارتعاشی..... ۵۴
شکل۲- ۳۵: خشک کن بستر سیال همزن دار..... ۵۴
شکل۲- ۳۶: خشک کن بستر سیال با ذرات ساکن..... ۵۵
شکل۲- ۳۷: خشک کن بستر سیال فواره ای..... ۵۶

شکل۳- ۱: اندازه گیری نمونه صدتایی از دانه های ذرت توسط کولیس..... ۶۶
شکل۳- ۲: طرحواره خشک کن و مسیر حرکت هوا در آن..... ۷۲
شکل۳- ۳: الف) نمای روبروی خشک کن شامل جمع کننده های خورشیدی، ب) نمای پشت خشک کن شامل کانال هوا، دمنده حلزونی، بستر خشک کن و تجهیزات اندازه گیری، پ) نمای جانبی خشک کن..... ۷۹

شکل۴- ۱: انرژی تابشی خورشید در سطح افقی در ساعات آزمایش..... ۸۶
شکل۴- ۲: انرژی تابشی خورشید در سطح شیب دار ۲۵ درجه در ساعات آزمایش..... ۸۷
شکل۴- ۳: تغییر دمای هوای محیط، دمای خروجی از جمع کننده، دمای ورودی و خروجی بستر خشک کن در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۲۶..... ۹۲
شکل۴- ۴: تغییر دمای هوای محیط، دمای خروجی از جمع کننده، دمای ورودی و خروجی بستر خشک کن در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۲۷..... ۸۹
شکل۴- ۵: تغییر دمای هوای محیط، دمای خروجی از جمع کننده، دمای ورودی و خروجی بستر خشک کن در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۲۸..... ۹۰

شکل۴- ۶: تغییر دمای هوای محیط، دمای خروجی از جمع کننده، دمای ورودی و خروجی بستر خشک کن در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۲۹ ..... ۹۴
شکل۴- ۷: تغییر دمای هوای محیط، دمای خروجی از جمع کننده، دمای ورودی و خروجی بستر خشک کن در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۳۰ ..... ۹۱
شکل۴- ۸: تغییر دمای هوای محیط، دمای خروجی از جمع کننده، دمای ورودی و خروجی بستر خشک کن در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۳۱ ..... ۹۵
شکل۴- ۹: تغییر دمای هوای محیط، دمای خروجی از جمع کننده، دمای ورودی و خروجی بستر خشک کن در تاریخ ۱۳۹۰/۵/۱ ..... ۹۲
شکل۴- ۱۰: تغییر دمای هوای محیط، دمای خروجی از جمع کننده، دمای ورودی و خروجی بستر خشک کن در تاریخ ۱۳۹۰/۵/۲ ..... ۹۲
شکل۴- ۱۱: منحنی محتوای رطوبت ذرت بر پایه خشک در مقابل زمان خشک شدن، الف)A1-A12، ب)B1-B12 ..... ۹۹
شکل۴- ۱۲: منحنی محتوای رطوبت ذرت بر پایه خشک در مقابل زمان خشک شدن، الف) B1-B3, A1-A3، ب) B4-B6, A4-A6، پ) B7-B9, A7-A9، ت) B10-B12, A10-A12 ..... ۱۰۵
شکل۴- ۱۳: منحنی نرخ خشک شدن ذرت بر پایه خشک در مقابل زمان خشک شدن، الف)A1-A12، ب)B1-B12 ..... ۱۰۳
شکل۴- ۱۴: منحنی نرخ خشک شدن ذرت بر پایه خشک در مقابل زمان خشک شدن در زمان ظهر، با دو نوع توزیع کننده هوا، دو ارتفاع بستر و سرعت هوای گرم ۱۰۳
شکل۴- ۱۵: منحنی اول خشک شدن ذرت، الف)A1-A6، ب)A7-A12، پ) B1-B6 و ت) B7-B12 ..... ۱۱۰
شکل۴- ۱۶: منحنی دوم خشک شدن ذرت، الف)A1-A6، ب)A7-A12، پ) B1-B6 و ت) B7-B12 ..... ۱۱۱
شکل۴- ۱۷: منحنی نرمال نرخ خشک شدن، الف) A1-A12، ب) B1-B12 ..... ۱۰۹
شکل۴- ۱۸: منحنی نرمال نرخ خشک شدن و توابع برازش شده، الف) A1-A6، ب) A7-A12، پ) B1-B6 و ت) B7-B12 ..... ۱۱۸
شکل۴- ۱۹:مقایسه ذرت های خشک شده، الف) توسط خشک کن بستر سیال خورشیدی، ب) تحت تابش مستقیم خورشید ۱۱۹

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
شدت جریان حرارتی، W	q_x
ضریب رسانش حرارتی، $W/m^{\circ}C$	K
مساحت سطح در معرض حرارت، m^2	A
دما، $^{\circ}C$	T
شدت انتقال حرارت، W	q
دمای سطح، $^{\circ}C$	T_p
دمای محیط، $^{\circ}C$	T_∞
ضریب انتقال حرارت همرفتی، $W/m^{2\circ}C$	h
ثابت استفان بولتزمن، W/m^2K^4	σ
ضریب نشر سطح	ε'
دمای مطلق سطح جسم، K	T_A
شیب جمع کننده خورشیدی، درجه	β
عرض جغرافیایی محل، درجه	φ
انرژی تابشی خورشیدی بر سطح افقی در غیاب اتمسفر در بازه یک ساعته، J/m^2	I_0
ثابت خورشیدی، W/m^2	G_{sc}
شماره روز در سال نسبت به اول ماه ژانویه	n
زاویه میل خورشیدی، درجه	δ
زاویه ساعت برای ساعت شروع یک بازه یک ساعته، درجه	ω_1
زاویه ساعت برای ساعت پایان یک بازه یک ساعته، درجه	ω_2
ضریب صافی آسمان در طول یک ساعت	k_T
انرژی تابشی خورشیدی، J/m^2	I
انرژی تابشی مستقیم خورشیدی، J/m^2	I_b
انرژی تابشی پراکنده خورشیدی، J/m^2	I_d
نسبت تابش مستقیم کل به تابش مستقیم دریافت شده کل	R_b
زاویه ساعت برای ساعت متوسط ابتدا و انتهای بازه یک ساعته، درجه	ω
شاخص ناهمسانگردی	A_i

ضریب تعدیل	f'
تابش کل بر سطحی شیب دار در طول یک ساعت، J/m^2	I_T
ضریب بازتابش پراکنده	ρ_g
قطر ذره، m	d_p
کرویت ذره، %	ϕ
طول ذره، mm	L
عرض ذره، mm	w
ضخامت ذره، mm	t
جرم، Kg	m
حجم توده ای، m^3	V_b
حجم خالص، m^3	V_n
چگالی توده ای، Kg/m^3	ρ_b
چگالی خالص/جامد، Kg/m^3	ρ_s
حداقل ارتفاع سیالیت، m	L_{mf}
جز تهی بستر در حالت حداقل سیالیت	ε_{mf}
جز تهی بستر	ε
حجم کل بستر، m^3	V_0
حجم کل بستر در حالت حداقل سیالیت، m^3	V_{mf}
حجم خالص ذرت، m^3	V_{Corn}
محتوای رطوبت بر پایه خشک، %	X_d
محتوای رطوبت بر پایه تر، %	X_w
جرم آب موجود (آب تبخیری) در ماده، Kg	m_w
جرم جسم خشک، Kg	m_d
جرم اولیه ماده، Kg	M_i
محتوای رطوبت اولیه ماده (بر مبنای تر)، %	X_i
محتوای رطوبت نهایی ماده (بر مبنای تر)، %	X_f
گرمای نهان تبخیر، KJ/Kg	h_{fg}
چگالی هوا، Kg/m^3	ρ
گرمای ویژه، $J/Kg.K$	C_p
ویسکوزیته دینامیکی، $kg/m.s$	μ

ویسکوزیته سینماتیکی، m^2/s	υ
سرعت هوا در شرایط حداقل سیالیت، m/s	u_{mf}
شتاب گرانش زمین، m/s^2	g
توان حرارتی جمع کننده خورشیدی، W	$\dot{Q}$
دبی جرمی هوا، Kg/s	$\dot{m}$
اختلاف دمای هوا در ورودی و خروجی جمع کننده خورشیدی، $^{\circ}C$	ΔT
بازده جمع کننده خورشیدی، %	η
شدت تابش خورشیدی، W/m^2	G_T
مساحت سطح جمع کننده خورشیدی، m^2	A_C
افت فشار هوا در بستر ذرات، Pa	ΔP_b
افت فشار، m	h
ضریب افت فشار	k
سرعت هوا، m/s	V
افت فشار، Pa	ΔP
افت فشار استاتیکی، Pa	SP
فشار سرعت هوا، in,WC	VP
فشار کل سیستم (افت فشارکل)، Pa	TP
قدرت هوای خروجی از دمنده، hp	ahp
دبی حجمی هوا، $ft^3/\min$	cfm
طول جغرافیایی استاندارد، درجه	L_{st}
طول جغرافیایی محل مورد نظر، درجه	L_{loc}
جرم ذرات در زمان مشخص، g	M_t
نرخ خشک شدن، $g/g.\min$	R
محتوای رطوبت نرمال	ψ
نرخ خشک شدن نرمال	f
رطوبت بحرانی اولیه، $g/g.db$	X_{Cr_1}
رطوبت بحرانی ثانویه، $g/g.db$	X_{Cr_2}
نرخ خشک شدن متناظر با رطوبت بحرانی اولیه، $g/g.\min$	R_{Cr_1}
نرخ خشک شدن متناظر با رطوبت بحرانی ثانویه، $g/g.\min$	R_{Cr_2}
بازده لحظه ای جمع کننده خورشیدی، %	η_i

بازده کلی سیستم خشک کن، %	η_s
انرژی الکتریکی مصرف شده توسط دمنده، KJ	E_f
دمای متوسط هوا، $^{\circ}C$	T_{ave}
چگالی هوا در دمای متوسط، Kg/m^3	$\rho_{T_{ave}}$
گرمای ویژه در دمای متوسط، $J/Kg.K$	$C_{p,T_{ave}}$

فصل اول:مقدمه