



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

## ارزیابی تاثیر دبی هوا، سرعت خشک کردن و بررسی کیفیت میوه خشک شده توسط خشک کن خورشیدی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو

محسن قرباندوست

استاد راهنما:

مسعود جلیلیان-مجتبی میرزائی

مهر ماه ۱۳۹۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

### باسمه تعالی

اینجانب محسن قرباندوست به شماره دانشجویی ۳۰۲۳ دانشجوی رشته مکانیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی:

امضا و تاریخ:

## مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما: مسعود جلیلیان-مجتبی میرزائی

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

روح پاک پدر که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

و به همسرم، اسطوره زندگیم، پناه مستقیم و امید بودنم .

تشکر و قدردانی

شایسته است از جناب آقای دکتر جلیلیان تقدیر و تشکر نمایم.

## چکیده

استفاده از انرژی خورشیدی در کشوری مانند ایران که از این منبع خداداد به وفور بهره‌مند است، امری بدیهی است و سرمایه‌گذاری در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر همواره باعث اشتغال‌آفرینی و تحرک اقتصادی می‌شود. در روستاها، محصولات کشاورزی وجود دارد، که بدلائل مختلف از جمله دوری راه تا بازار و آسیب‌پذیری محصول امکان رساندن آنها به محلهای فروش برای جامعه محلی به آسانی امکان‌پذیر نیست. از طرفی برخی از محصولات اساساً در اقتصاد خانوارها بدلیل عدم درآمد جایگاهی مهمی ندارد که از جمله آنها می‌توان به توت اشاره کرد. به منظور کمک به معیشت خانوارها و جلوگیری از فاسد شدن محصولات، در این پروژه به بررسی امکان ساخت یک دستگاه خشک‌کن خورشیدی که به منبع دیگری احتیاج نداشته باشد، پرداخته شده است.

خشک‌کن خورشیدی ساخته شده در این پروژه، یک دستگاه ۷۵ کیلوگرمی است که با قرار دادن چرخ امکان جابه‌جایی فراهم می‌شود. این دستگاه قادر است روزانه بین ۵ تا ۱۰ کیلوگرم انواع میوه خشک را تحویل دهد. در محل ورود هوای تازه به دستگاه از فیلتر استفاده شده تا از ورود گرد و خاک و حشرات به سیستم جلوگیری کند. سه عدد سینی توری برای قراردادن میوه‌تر در مسیر باد گرم تعبیه شده و برای خشک کردن میوه‌ها بین ۴ تا ۵ ساعت وقت لازم است.

در آزمایش‌های اولیه موفقیت دستگاه در خشک کردن میوه، سبزی و گل محمدی به اثبات رسید. این دستگاه می‌تواند برای خانوارهای حتی فاقد زمین که دسترسی به میوه‌های محلی و یا بازار را داشته باشند، بکار گرفته شود و با تولید میوه خشک یک معیشت محلی را ایجاد کند.

به طور کلی دستگاه خشک‌کن خورشیدی ساخته شده از دو بخش تشکیل شده ۱- بخش کابین میوه ۲- بخش جاذب گرما

مصالح اصلی استفاده شده در ساخت دستگاه پروفیل و نبشی آهن، شیشه، چوب می‌باشد. در طراحی این دستگاه از سازه فلزی که قادر باشیم دستگاه را از محلی به محل دیگر انتقال دهیم، استفاده شده است. صفحه شیشه‌ای برای جلوگیری از اتلاف گرما و هم‌چنین صفحه جاذب از نوع گالوانیزه که با رنگ سیاه نسوز به صورت کوره‌ای رنگ شده، استفاده شده است.

این دستگاه در آب و هوای ابری و در شهر ساوه آزمایش شده که نتایج ذیل بدست آمده است.

۱- با توجه به شرایط آب و هوایی، دمای مورد نیاز (۱۵ - ۲۰ درجه اختلاف دما با محیط ) برای خشک کردن را می توان با این دستگاه بدست آورد.

۲- کاهش زمان خشک شدن نسبت به روش سنتی با شرایط محیطی و دمایی یکسان.

۳- در صورت استفاده از یک فن (برق مورد نیاز فن از طریق پنل خورشیدی تامین میگردد)، زمان خشک کردن میوه از ۳ ساعت به نصف کاهش می یابد.

۴- میوه ها در یک محیط تمیز و عاری از میکروب و گرد و خاک ، خشک میگردد.

**واژه های کلیدی:** خشک کن، کلکتور خورشیدی، میوه خشک شده، خشکن میوه خورشیدی



## فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه	۳
۱-۱- مقدمه	۵
فصل ۲: مروری بر منابع	۱۳
۲-۱- مقدمه	۱۶
۲-۲- تعاریف، اصول و مبانی نظری	۱۶
۲-۲-۱- تیتراژ	۲۰
۲-۳- مروری بر ادبیات موضوع	۲۰
۲-۴- نتیجه گیری	.....
فصل ۳: روش تحقیق	۲۳
۳-۱- مقدمه	۲۲
۳-۲- محتوا	۲۴
۳-۲-۱- علت انتخاب روش	۲۴
۳-۲-۲- تشریح کامل روش تحقیق	۲۶
فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها	۴۰
۴-۱- مقدمه	۴۱
۴-۲- محتوا	۴۱
۴-۲-۱- تولید داده ها	۴۷
فصل ۵: جمع بندی و پیشنهادها	۵۱
۵-۱- مقدمه	۵۲
۵-۲- محتوا	۴۹
۵-۲-۱- جمع بندی	۵۳
۵-۲-۲- نوآوری	۵۳
۵-۲-۳- پیشنهادها	۵۳
مراجع	۵۴

## فهرست اشکال

شکل ۱-۱ ساختار دستگاه میوه خشک کن	۱۱
شکل ۱-۳ ساختار دستگاه	۲۹
شکل (۲-۳) الی (۸-۳) مراحل ساخت	۳۱-۳۷
شکل ۱-۴ - مراحل ساخت	۴۱
شکل ۲-۴ - طراحی خشک کن با نرم افزار اتوکد	۴۱
شکل ۳-۴ - تصویر ۳ بعدی دستگاه با استفاده از نرم افزار سه بعدی	۴۲
شکل ۴-۴ - نصب دستگاه	۴۳
شکل (۵-۴) الی (۱۰-۴) مراحل آزمایش	۴۳-۴۶

## فهرست جداول

جدول ۱-۳ شرایط مورد نیاز جهت خشک شدن میوه	۲۲, ۲۳
جدول ۱-۴ وزن و دمای اولیه میوه	۴۵
جدول ۲-۴ وزن میوه ها پس از خشک شدن	۴۷
جدول ۳-۴ وزن میوه ها پس از خشک شدن توسط فن	۴۸

# فصل ۱:

## مقدمه



## ۱-۱- مقدمه

طبق آمار سازمان انرژی های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق ایران یکی از کشورهای بهره مند از منابع انرژی پاک به شمار می آید و در نواحی پرتابش جهان، واقع شده است. مطالعات نشان می دهد که با استفاده از تجهیزات خورشیدی می توان بخش عمده ای از انرژی مورد نیاز کشور را تأمین کرد. به گونه ای که کشورمان با برخورداری از ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم آن و متوسط تابش ۵,۵ - ۴,۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز، یکی از کشورهای با ظرفیت بالا در زمینه انرژی خورشیدی است [۱,۲].

برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی گام را از این هم فراتر نهاده اند و در وضعیتی آرمانی ادعا می کنند که ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه های دریافت انرژی تابشی، می تواند انرژی مورد نیاز بخش های گسترده ای از منطقه را نیز تأمین کند و در زمینه صدور انرژی برق، فعال شود.

به عنوان نمونه ای از این ظرفیت کشورمان، می توان به سیستان و بلوچستان اشاره کرد که با برخورداری از انواع انرژی های نو و تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی، امواج دریا و اقیانوس و زمین گرمایی، به گنجینه ای با ارزش تبدیل شده است که با سرمایه گذاری روی آنها، می توان به مقادیر قابل توجهی از انرژی های پاک و سبز، دست یافت [۳].

در حال حاضر انرژی خورشیدی متأسفانه سهمی در تولید برق کشور ندارد، حال آنکه سهم این انرژی در جهان بیش از ۳۰ درصد است. به گفته مدیر دفتر انرژی خورشیدی سازمان انرژی های نو ایران (سانا)، ظرفیت انرژی خورشیدی تا پایان سال ۲۰۱۴ میلادی در جهان به ۴۰ هزار مگاوات رسید و آلمان، ایتالیا، ژاپن، اسپانیا و آمریکا به عنوان کشورهای پیشرو در ظرفیت نصب شده انرژی خورشیدی در جهان، محسوب می شوند [۴]. از دیرباز نگهداری محصولات کشاورزی برای کشاورزان عزیز کشورمان موضوعی چالش برانگیزی بوده است. خشک کردن محصولات کشاورزی یک از قدیمی ترین روشهای نگهداری است. این روش نسبت به سایر روشها ساده تر و اقتصادی تر است. خشک کردن میوه ها و سبزیها در زیر آفتاب معایب فراوانی دارد، بنابراین در پی روشی نوین برای خشک کردن میوه ها به صورت کاملاً بهداشتی و در عین حال ساده و ارزان هستیم.

وزارت جهاد کشاورزی و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و معاونت ترویج خشک کن ها را با توجه به ساختارشان دسته بندی کرده اند . به جرات میتوان گفت خشک کن خورشیدی کابینتی کارآمدترین نوع خشک کن خورشیدی است.

در این پایان نامه ارزیابی و تاثیر دبی هوا، سرعت خشک کردن و بررسی کیفیت میوه خشک شده توسط خشک کن خورشیدی ساخته شده در شرایط آب و هوایی شهر ساوه بررسی نموده ایم ، سپس با استفاده از معادلات انرژی و انتقال حرارت به تحلیل سیستم پرداخته ایم .

پس از مشخص شدن میزان انرژی جذب شده مفید، مقدار بیشینه و کمینه سرعت جریان هوای داخل سیستم و حداکثر رطوبت نسبی هوای ورودی، ظرفیت دستگاه محاسبه گردید و سپس اقدام به ساخت دستگاه نمودیم.

## ۱-۲- ضرورت کاربرد انرژی خورشیدی برای میوه خشک کن

اولین و اصلی ترین دلیل برای اینکه چرا دولت ها و کسب و کارها مشتاق به روی آوردن به سوی انرژی های تجدید پذیر هستند این است که پایان منابع سوخت های فسیلی بسیار نزدیک است. احتمالاً امروز ما به نقطه اوج مصرف نفت رسیده ایم ( نقطه ای که تقاضا از عرضه پیشی می گیرد) با توجه به آمار سازمان JODI اکنون، به نظر می رسد خیلی از کارشناسان معتقدند که ما در سال ۲۰۰۸ به نقطه ای اوج مصرف نفت دست یافتیم. ایجاد نوسانات در تقاضا پیش بینی دقیق پایان سوخت های فسیلی را دشوار ساخته است. به هر حال از هر جهت بنگریم، سرانجام سوخت های فسیلی تمام می شوند و تقریباً ۱۰,۰۰۰,۰۰۰ سال زمان می برد تا دوباره تشکیل شوند چیزی که ما تنها در حدود ۱۵۰ سال مصرف کردیم [۵].

با افزایش جمعیت بشر، میزان مصرف این سوخت های فسیلی نیز افزایش داشته است. زمین شناسان و کسانی که تخصص آن ها مکان یابی و دستیابی به منابع نفت خام است به این نتیجه رسیده اند که دستیابی به منابع جدید دشوار و تقریباً غیرممکن است. پس ما باید برای یک جهان بدون سوخت های فسیلی آماده باشیم.

مشکل ضروری خصوصاً با اجرای توافق‌نامه‌ی اقلیمی پاریس، و تغییرات آب‌وهوایی که در ۱۵۰ سال اخیر شاهد آن بودیم، تغییر آب‌وهوا و انتشار گاز کربن است. به‌ویژه در چند سال اخیر تمام قسمت‌های جهان دستخوش تغییرات آب‌وهوایی شده‌اند. اکثر قاره‌ها در تابستان ثبت بالاترین درجه حرارت و کمترین دما در زمستان و افزایش ترافیک طوفان‌های عظیم، کمترین بارش مؤثر، خشک‌سالی و سیلاب را داشته‌اند. شکی نیست که این شرایط آب‌وهوایی نامتعادل در هر کشوری تأثیرگذار است.

بر اساس تحقیقات مجمع بین‌المللی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC) وابسته به سازمان ملل متحد، اگر شرایط آب‌وهوایی کره زمین همین‌گونه که اکنون هست ادامه یابد، گرمای زمین تا سال ۲۱۰۰ حدود ۳/۷ تا ۴/۸ درجه افزایش می‌یابد. کارشناسان براین نظرند که فرایند گرمایش زمین را می‌توان تا حد دو درجه ثابت نگاه داشت اگر استفاده از انرژی فسیلی تا سال ۲۰۵۰ به پایان برسد [۶].

منابع انرژی تجدید پذیر و فناوری مورد استفاده برای بهره برداری از این منابع دارای کمترین انتشار گاز کربن می باشند .

آنچه ما باید انجام دهیم، این است که در مسیری قرار بگیریم که کاهش اثر کربن در راستای عمل به مقررات بین‌المللی برای توسعه جهانی، و حفاظت از خودمان در مقابل آب‌وهوای نامتعادل از نتایج آن باشد. همچنین میدانیم که کاهش مواد غذایی و بی‌ثباتی ملت‌ها و متعاقباً دشوار شدن شرایط زندگی از پیامدهای افزایش گرمای زمین و ذوب شدن یخچال‌های قطبی و افزایش سطح دریاها است.

به‌طور مختصر امنیت انرژی به معنی حصول اطمینان از دستیابی همگان به انرژی مقرون‌به‌صرفه، مطمئن و مدرن است. به مفهوم امنیت انرژی می‌بایست به شکل یک چرخه نگریست. در یک سمت امنیت تقاضا مطرح است که برای تولیدکنندگان اهمیت دارد، در آن‌سو امنیت عرضه برای مصرف‌کنندگان امری مهم محسوب می‌شود.

امنیت انرژی برای تولیدکنندگان در آن است که به یک بازار مداوم و همراه با رشد منطقی در آینده دسترسی داشته باشند، زیرا اکثر تولیدکنندگان نفت از گروه اقتصادهای تک محصولی هستند که به فروش نفت عمیقاً وابسته‌اند و هرگونه احتمال کم شدن تقاضا و یا توجه کشورهای توسعه‌یافته به انرژی‌های جایگزین و یا ترجیح آنان در تأمین نفت و گاز از کشورهای غیر اوپک به معنای ایجاد مانع در توسعه اجتماعی و رشد اقتصادی این کشورها است. پس با این اوصاف بهترین رفتار برای کشور ما ایران در امنیت انرژی، تأمین پایدار و پیوسته انرژی، تنوع‌بخشی به سبد انرژی و سوخت موردنیاز با توجه به کاهش وابستگی به نفت و پرداختن به مبحث انرژی‌های نو و تجدید پذیر است.

برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی گام را از این هم فراتر نهاده‌اند و در وضعیتی آرمانی ادعا می‌کنند که ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی، می‌تواند انرژی مورد نیاز بخش‌های گسترده‌ای از منطقه را نیز تأمین کند و در زمینه صدور انرژی برق، فعال شود.

به عنوان نمونه‌ای از این ظرفیت کشورمان، می‌توان به سیستان و بلوچستان اشاره کرد که با برخورداری از انواع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی، امواج دریا و اقیانوس و زمین گرمایی، به گنجینه‌ای با ارزش تبدیل شده است که با سرمایه‌گذاری روی آنها، می‌توان به مقادیر قابل توجهی از انرژی‌های پاک و سبز، دست یافت.

در حال حاضر طبق آمار وزارت نیرو انرژی خورشیدی متأسفانه سهمی در تولید برق کشور ندارد، حال آنکه سهم این انرژی در جهان بیش از ۳۰ درصد است. به گفته سامان میرهادی مدیر دفتر انرژی خورشیدی سازمان انرژی‌های نو (سانا)، ظرفیت انرژی خورشیدی تا پایان سال ۲۰۱۴ میلادی در جهان به ۴۰ هزار مگاوات رسید و آلمان، ایتالیا، ژاپن، اسپانیا و آمریکا به عنوان کشورهای پیشرو در ظرفیت نصب شده انرژی خورشیدی در جهان، محسوب می‌شوند [۴].

در کشورمان با توجه به منابع سرشار نفت و گاز و ارزان بودن برق تولیدی حاصل از آن، هزینه کردن برای انرژی‌های نو شاید خیلی منطقی نباشد، اما ایران باید تا سال ۲۰۲۰ میلادی ۱۲ درصد از تولید CO<sub>2</sub> را کاهش دهد که معادل ۱۰ هزار مگاوات تولید برق است، در غیر این صورت جریمه خواهد شد [۳].



توسعه انرژی های تجدیدپذیر ضرورتی انکار ناپذیر است، تا آلودگی هوا و سایر آلودگی های زیست محیطی کاهش یابد.

سرمایه گذاری در بخش انرژی های تجدیدپذیر همچنین باعث اشتغال آفرینی و تحرک اقتصادی می شود، به طوری که در جهان سالانه بیش از ۷ میلیون نفر در این بخش مشغول به کار شده اند. از سوی دیگر، در سال ۲۰۱۴ میلادی، ۲۷ درصد برق مصرفی دنیا به وسیله انرژی های نو و تجدیدپذیر تامین شده است، انرژی که سهم ایران از آن اندک و ناچیز بوده است. ارتقای استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و پایدار را یکی از شروط اصلی و اساسی دستیابی پایدار و برون رفت از چالش های عرصه انرژی در سطح جهان و کشورمان عنوان می کند [۷،۸].

دبیرکل سازمان ملل متحد چشم انداز جهانی حوزه انرژی را در سپتامبر سال ۲۰۱۱ میلادی با عنوان «انرژی پایدار برای همه تا سال ۲۰۳۰» ترسیم کرده است که تامین دسترسی جهانی به خدمات نوین انرژی و ۲ برابر شدن سهم مردم از انرژی های جهانی، در این چشم انداز دنبال می شود. وی با بیان این که دستیابی به توسعه پایدار بدون انرژی امکان پذیر نیست، می افزاید: چشم انداز جهانی انرژی به دنبال ایجاد دگرگونی در سامانه های جهانی آن است تا دنیایی موفق تر، ایمن تر و سالم تر برای نسل حاضر و آیندگان فراهم شود.

به گرما و نور منتشرشده از خورشید، انرژی خورشیدی (**Solar energy**) می گویند. این انرژی نتیجه فرایند پیوسته همجوشی هسته ای در خورشید است. شدت تابش خورشید در خارج جو زمین در هر ثانیه حدود ۱۳۶۷ ژول در هر متر مربع می باشد که در سطح زمین در یک روز صاف و آفتابی به حدود ۱۰۰۰ وات بر متر مربع کاهش می یابد [۱،۹]. انرژی خورشیدی منحصر به فردترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان و منبع اصلی تمامی انرژی های موجود در زمین است. با وجود آنکه انرژی خورشید و مزایای آن از قرون گذشته به خوبی شناخته شده ولی بالا بودن هزینه اولیه سیستم های خورشیدی از یک طرف و عرضه نفت خام و گاز طبیعی ارزان از طرف دیگر سد راه پیشرفت این سیستم ها شده اند. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد.

سازمان انرژی های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق (ساتبا) کاربرد انرژی تجدید پذیر را به شرح ذیل اعلام نموده است :

- (۱) آبگرمکن ها و حمام های خورشیدی (solar water heater)
  - (۲) گرمایش و سرمایش ساختمان و تهویه مطبوع خورشیدی
  - (۳) آب شیرین کن خورشیدی (solar humidification–dehumidification method)
  - (۴) خشک کن خورشیدی (solar dryer)
  - (۵) اجاق های خورشیدی (Solar cooker)
  - (۶) انرژی الکتریکی خورشیدی
- تکنیک های خشک کردن میوه خشک شده شامل انواع زیر می باشد:
- (۱) خشک شدن با نور خورشید (روش سنتی زمان بر)
  - (۲) Freeze drying
  - (۳) خشک کردن درام (Drum drying)
  - (۴) Spray drying
  - (۵) Foam mat and vacuum belt
  - (۶) سینی , تونلی (Convection air & Superheated steam (tray, tunnel))
  - (۷) خشک شدن اسموتیک
  - (۸) مایکروویو
  - (۹) ترکیبی از تکنیک های مختلف
  - (۱۰) خلاء اسمزی (Vacuum- osmotic) \* اسموتیک - مایکروویو (Osmotic - microwave)
  - (۱۱) Ultrasound pre-treatment followed by drying
  - (۱۲) بستر سیال (Fluidized bed)

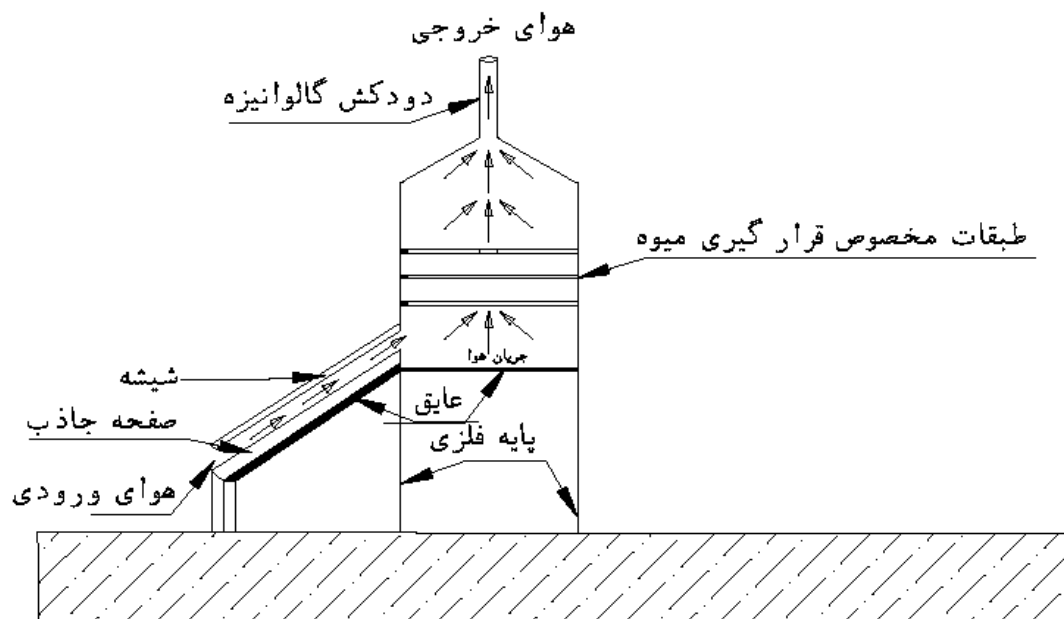
Pulse combustion (۱۳)

Jet zone or impingement (۱۴)

### ۱-۳- میوه خشک کن خورشیدی

خشک کردن عبارت است از گرفتن قسمتی از آب موجود در مواد غذایی و سایر محصولات که باعث افزایش عمر انباری محصول و جلوگیری از رشد باکتری‌ها است. در خشک کن‌های خورشیدی بطور مستقیم یا غیر مستقیم از انرژی خورشیدی جهت خشک نمودن مواد استفاده می‌شود و هوا نیز به صورت طبیعی یا اجباری جریان یافته و باعث تسریع عمل خشک شدن محصول می‌گردد.

دستگاه خشک کن میوه خورشیدی از دو بخش تشکیل شده است. (مطابق تصویر ذیل):



شکل ۱-۱ ساختار دستگاه میوه خشک کن

### ۳-۱-۱- بخش جاذب حرارت

این بخش وظیفه اش جذب حداکثری اشعه خورشید می باشد. که پس از عبور جریان هوا و برخورد با هوای داغ بدست آمده از حرارت خورشید، هوای عبوری گرم تر شده و از این بخش عبور میکند.

### ۳-۱-۲- بخش کابین میوه

هوای گرم شده وارد بخش کابین میوه می شود و با توجه به نوع ساختار کابین و عبور هوا از بین میوه ها که از قبل در این محل چیده شده است منجر به عملیات رطوبت گیری می شود و در نتیجه میوه شروع به خشک شدن میکند.

## **فصل ۲:**

**مروری بر منابع**

## ۲-مقدمه

(عظیمی، مرتضی، ۱۳۹۵) " بررسی ساخت خشک کن خورشیدی همرفت طبیعی برای خشک کردن انگور طبق شرایط آب و هوایی استان اصفهان "دانشگاه پیام نور استان گیلان-و نتیجه آن به شرح ذیل می باشد.

یک خشک کن خورشیدی همرفت طبیعی قادر به تولید خوشه های انگور در استان اصفهان ارزیابی شد. مطالعات بر روی میوه های انگور و طراحی مکانیکی سیستم خشک کن انجام شده است.

طراحی و ساخت و عملکرد این خشک کن برای توسعه یک سیستم متناسب و مؤثر که قادر به نگهداری خوشه های انگور می باشد. گزارش بر پایه گوناگونی عواملی شامل: خواص فیزیکی انگور و شرایط محیطی استان اصفهان و توانایی های تولید محلی روستاهای کوچک اصفهان تشریح شده است.

(فروغی، امین ضیاء، ۱۳۹۵) بر روی طرح مطالعه آزمایشگاهی فرایند خشک شدن میوه در خشک کن فروسرخ و بهبود عملکرد آن با استفاده از انرژی خورشیدی که نتیجه به شرح ذیل می باشد:

ازجمله روش های خشک کردن که در سال های اخیر مورد توجه ویژه ای قرار گرفته، خشک کردن با امواج فروسرخ می باشد. فاز نخست تحقیق حاضر، خشک کردن برش های «میوه به» در ضخامت  $5 \pm 24/0$  میلی متر در یک خشک کن فروسرخ در چهار دمای نهایی ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد بوده است که با تنظیم چهار سطح تابشی ۵۱، ۷۳، ۹۸ و ۱۲۵ وات حاصل گشته اند. منحنی های نرخ خشک شدن به استثنای ۷٪ ابتدای فرایند خشک شدن، کل زمان خشک شدن را در مرحله نرخ نزولی نشان می دهند. سینتیک خشک شدن با استفاده از ده رابطه ریاضی برازش و با استفاده از سامانه تطبیقی استنتاج عصبی- فازی شبیه سازی گردید.

مقایسه نتایج حاصل از آنالیز غیرخطی رگرسیون نشان می‌دهد که سامانه تطبیقی استنتاج عصبی- فازی نتایج مقادیر نسبت رطوبت را با دقت بالایی پیش بینی کرده و رابطه میدیلی بهترین انتخاب برای برازش منحنی نسبت رطوبت برحسب زمان است. ضریب پخش جرم نمونه‌های خشک‌شده، با استفاده از قانون دوم فیک تعیین گردید و مشخص شد که مقادیر این عامل با افزایش دما از ۵۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد از مقدار ۹-۸  $\times 10^{-10}$  تا  $1/0.2436 \times 10^{-9}$  افزایش پیدا می‌کنند. مقدار انرژی فعال‌سازی خشک شدن فروسرخ میوه به،  $25/33 \text{ kJ/mol}$  تخمین زده شد. بررسی عامل‌های کیفی نشان می‌دهد که بهترین دما برای خشک کردن برش‌های ۵ میلی‌متری میوه به، دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد است. علی‌رغم توزیع تقریباً یکنواخت تابش امواج فروسرخ بر سطح میوه، نتایج فناوری عکس‌برداری حرارتی گویای خشک شدن غیریکنواخت جسم مرطوب می‌باشد که سبب چروکیدگی قابل‌ملاحظه‌ای در محصولات می‌شود و ناشی از اثر غالب گرادیان رطوبت بین میوه مرطوب و هوای اطراف می‌باشد. در فاز دوم این تحقیق برای نخستین بار در جهان، با ساخت یک خشک‌کن ترکیبی خورشیدی- فروسرخ متناوب، مجهز به سامانه تولید برق فتوولتائیک علاوه بر کاهش زمان خشک شدن، مصرف انرژی نیز به مقدار قابل‌توجهی کاهش داده شد. نتایج نشان می‌دهد که زمان خشک شدن در مقایسه با خشک‌کن خورشیدی حداقل ۷۵٪ و حداکثر ۸۳٪ و در مقایسه با خشک‌کن فروسرخ حداقل ۲۵٪ و حداکثر ۵۲٪ کاهش یافته است. به‌علاوه انرژی الکتریکی خشک‌کن ترکیبی حداکثر ۶۹٪ و حداقل ۴۰٪ نسبت به خشک‌کن فروسرخ کاهش یافت. بیشترین و کمترین مقدار مصرف انرژی الکتریکی مخصوص، جهت خشک کردن برش سیب‌زمینی، به ترتیب ۳۵/۴ و ۷۹/۱ کیلووات ساعت بر کیلوگرم و متعلق به ضخامت ۷ میلی‌متر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و ۳ میلی‌متر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بهترین شرایط خشک کردن سیب‌زمینی در خشک‌کن حاضر دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد می‌شود. مزیت قابل‌توجه این سامانه در کنار کاهش قابل‌توجه زمان و انرژی مصرفی، تأمین کل انرژی مصرفی آن توسط انرژی خورشیدی می‌باشد.

(رهنما، مجید، ۱۳۸۹) "بر روی پروژه ای با عنوان طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن خورشیدی با چرخ

جاذب رطوبت برای حفظ خواص کیفی خرمای رقم استعمران" نتایج به شرح ذیل می باشد. کاهش دادن رطوبت خرما با دمای بالا و یا در مدت زمان طولانی باعث افت کیفیت محصول می شود. بنابراین لازم است محصول خرما سریع و با دمای پایین خشک شود. در مناطق مرطوب، رطوبت خرما را می توان با استفاده از سیستم جاذب رطوبت، به سرعت و در دمای پایین کاهش داد. از این رو، هدف از تحقیق در این رساله، حفظ خواص کیفی خرما در طی انبارمانی و ضدعفونی آن با استفاده از حرارت به جای متیل بروماید می باشد که به سبب مسایل زیست محیطی باید روشی مناسب جایگزین آن شود. یکی از این روش ها استفاده از تیمار حرارتی با استفاده از خشک کن خورشیدی می باشد که تنظیم رطوبت و تیمار حرارتی را همزمان انجام می دهد. از این رو به منظور انجام تحقیق حاضر، خشک کن مجهز به سیستم جاذب رطوبت با احیاء کننده خورشیدی طراحی و ساخته شد. سیستم جاذب رطوبت این دستگاه از دو فرایند احیاء و خشک کننده هوا تشکیل شده است. در فرایند احیاء هوای گرم خروجی از جمع کننده خورشیدی، سلیکا ژل موجود در چرخ جاذب را احیاء می کند که بعد از احیاء به محیط باز می گردد. در فرایند خشک کننده هوا، هوای محیط وارد چرخ جاذب شده و ضمن از دست دادن رطوبت وارد جمع کننده ثانویه شده و در نهایت، بعد از افزایش دما جهت خشک کردن محصول وارد محفظه خشک کن می شود. برای طراحی و ساخت دستگاه، ابتدا منحنی رطوبت تعادلی همدمای جذب و دفع خرمای استعمران، در چهار دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ درجه سانتیگراد به وسیله محلول های نمک های اشباع با فعالیت آبی بین ۰/۵۰ تا ۰/۸۵ استخراج و رسم گردید. برای برازش داده ها از مدل های GAB، هالسی اصلاح شده، چانگ- پی فوست اصلاح شده، اسمیت اصلاح شده، اوسوین اصلاح شده و هندرسون اصلاح شده برای هر دو حالت جذبی و دفعی استفاده شد که مدل GAB بهترین برازش را از نظر بالاترین مقدار  $R^2$  در هر دو حالت جذب و دفع داشت. میزان رطوبت تک لایه  $M_m$  برای هر دو حالت جذب و دفع با افزایش دما به ترتیب از مقدار ۷۶/۱۷ تا ۴۳/۷ درصد و ۳۷/۱۳ تا ۹۴/۷ درصد کاهش پیدا کرد. گرمای خالص در حالت جذبی و دفعی به ترتیب از ۲۲/۲۴ و ۲۱/۱۴ kJ/mol در رطوبت تعادلی ۱۰٪ تا ۱/۰۲- و ۱/۱- kJ/mol در رطوبت تعادلی ۴۰٪ کاهش یافت که مقدار این گرما برای حالت جذبی بیشتر از حالت دفعی می باشد. پس از طراحی و ساخت دستگاه، بازده روزانه جمع کننده ها و کارایی چرخ جاذب آن در اهواز مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان



بازده روزانه برای جمع‌کننده اولیه ۳۵٪ و برای جمع‌کننده ثانویه برابر ۳۲٪ بدست آمد. ضریب کارایی چرخ جاذب در نزدیکی ظهر که در آن بیشترین تابش خورشیدی فراهم است، به بالاترین مقدار خود (۰/۸۳) رسید. همچنین به وسیله دستگاه ساخته شده رطوبت خرمای استعمران با استفاده از چهار سطح دمایی ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد به سه سطح رطوبت تعادلی ۱۴، ۱۶ و ۱۸٪ بر پایه خشک رسید و تاثیر این تیمارهای اعمال شده بر خواص کیفی و کمی خرما (فعالیت آبی، pH، درصد جدا شدن پوست، قند کل، رنگ، درصد مواد جامد محلول و رطوبت تعادلی) و ضد عفونی آن در طول سه ماه انبارمانی مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه مقادیر به دست آمده با مقادیر شاهد و میوه تازه، بهترین دما برای تنظیم رطوبت خرمای استعمران و انبارمانی آن از نظر حفظ خواص کیفی به مدت سه ماه، ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد به دست آمد که با افزایش رطوبت مدت زمان انبارمانی نیز کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق نشان داد که برای انبارمانی به مدت یک ماه می‌توان از تیمار دمایی ۷۰ درجه سانتیگراد و رطوبت بالای ۱۶٪ استفاده نمود. از دمای ۵۰ درجه سانتیگراد و بالاتر می‌توان برای از بین بردن دو افت پروانه خرما و شپش دندانه‌دار و ضد عفونی کردن خرما استفاده کرد.

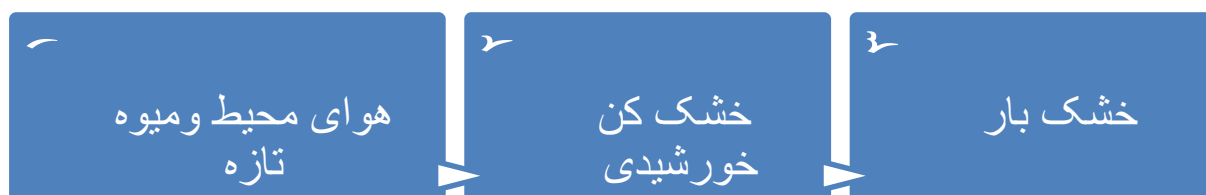
(کوشش، محمد کاظم، ۱۳۷۶) "طراحی و ساخت خشک‌کن خورشیدی میوه و حل عددی معادلات جریان و انرژی در آن" دانشگاه تهران - دانشکده فنی نتیجه پروژه به شرح ذیل می باشد.

در این پروژه یک روش عددی - تحلیلی برای طراحی خشک‌کن خورشیدی میوه معرفی می‌گردد. در ابتدا یک مدل ریاضی برای تحلیل انتقال حرارت جابجایی آزاد جمع‌کننده که به روش سعی و خطا حل می‌شود و همچنین یک روش تحلیلی برای مدل ریاضی جریان در دودکش ارائه می‌گردد. در محفظه خشک‌کن معادلات جریان طبیعی (ممنتوم) و انرژی به دلیل تغییرات دانسیته هوا با دما در معادله ممنتوم، به یکدیگر وابسته می‌باشند و به صورت توأم با کمک روش عددی تابع جریان گردابه‌ای که یکی از متدهای حجم محدود می‌باشد، حل می‌گردند. با توجه به اینکه نیروی بویانس عامل اصلی حرکت در این سیستم می‌باشد لذا در روند کلی حل مساله باید از روش سعی و خطا عمل نمود که در ابتدا با فرض دما در ورود هوا به دودکش و

همچنین دبی جریان هوا مساله شروع می‌شود. و در ادامه توزیع دما در جمع‌کننده (کلکتور) و دودکش بدست می‌آید. و نتایج آن به عنوان شرایط مرزی برای حل عددی معادلات به هم وابسته جریان و انرژی در محفظه خشک‌کن و دودکش استفاده می‌گردد. و در نتیجه دمای هوا در ورود به دودکش محاسبه می‌شود و با مقدار قبلی که فرض مساله بود مقایسه و تصحیح می‌گردد تا نهایتاً به یک مقدار ثابت همگرا شود. و در آخر تاثیر تغییرات ارتفاع دودکش و طول جمع‌کننده (کلکتور) بر افزایش دمای هوا در خروج از جمع‌کننده و همچنین بر دبی جریان هوا به صورت نمودار مقایسه می‌گردد که این مبنایی برای طراحی بهینه ابعاد خشک‌کن با توجه به نیاز مصرف‌کننده می‌باشد.

## تعاریف، اصول و مبانی نظری

هر سیستم با بخشهای گوناگونی در ارتباط است. این بخش ها شامل محیط، مواد اولیه، فرآیندهای داخل سیستم، محصولات، ضایعات و سایر خروجی ها می باشد. برای طراحی، بهینه سازی و ایجاد تغییرات موثر در سیستم باید این بخشها را به خوبی بررسی کرده و سپس با ایده های جدید به بهینه سازی آن پردازیم. در خشک کن خورشیدی این بخشها مطابق نمودار زیر است.



### ۲-۱-۱- بررسی عوامل موثر بر هوای محیط

هوای ورودی به سیستم خشک کن باید ظرفیت مناسب (جهت جذب آب از مواد غذایی) را داشته باشد. همچنین باید فاقد گرد و غبار باشد.

به طور کلی عوامل مهم و موثر عبارتند از:

۱- دمای حباب خشک: هر چه دما بالاتر باشد سرعت خشک شدن بیشتر می شود.

تولید خشکبار معمولاً از اواخر بهار آغاز شده و تا اوایل پاییز ادامه می یابد. لذا حداقل دمای ورودی به سیستم

دمای متوسط منطقه در ماه فروردین خواهد بود.

۲- رطوبت نسبی  $RH$  : % هر چه رطوبت نسبی کمتر باشد محصول بیشتری را می توان خشک نمود.

۳- میزان گرد و غبار: هرچه گرد و غبار کمتر باشد میزان کیفیت محصول بالاتر می رود. محل قرارگیری دستگاه باید در حد الامکان به دور از آلاینده های هوا باشد.

با استفاده از آزمایش ها محیطی، جداول مشخصات اقلیمی و نمودار سایکومتری یم توان تمام عاملهای فوق را برای هر مکانی محاسبه نمود.

## ۲-۱-۲- بررسی عوامل ناشی بر شکل ونوع میوه

میوه و سبزی به صورت خردشده یا برش خورده وارد دستگاه می شود عوامل موثر عبارت اند از:

۱- ضخامت برش : ضخامت برش با سرعت خشک شدن رابطه عکس دارد، به طوری که هرچه ضخامت برش میوه ها کمتر باشد، سرعت خشک شدن افزایش می یابد. در غیر این صورت سطح روی محصول خروجی (خشکبار) بسیار سفت و ترک خورده می شود ، همچنین لایه های میانی آن آبدار باقی می ماند و زود فاسد می گردد.

۲- ظرفیت حرارتی میوه : هر نوع میوه یا سبزی یم تواند بازه محدودی از حرارت را تحمل کند اما به طور کلی می توان گفت دمای مناسب برای خشک کردن میوه ها بین ۵۰ تا ۶۵ درجه سانتی گراد است و دمای بالاتر از ۷۰ درجه سانتیگراد برای اغلب میوه ها قابل تحمل نمی باشد.

۳- رطوبت نسبی میوه : مقدار آب موجود در میوه به کل ماده را رطوبت نسبی می گویند. رطوبت میوه تازه در حدود ۵۰-۸۵ % می باشد.

با توجه به آزمایش های انجام شده رسیدن رطوبت میوه به ۵ - ۱۱ % وزن اولیه ، میوه به اندازه کافی خشک شده است، آنگاه می توان گفت که فعالیت ۹۹ % باکتریها و قارچ ها در داخل میوه متوقف گردیده است.

## ۲-۱-۳- بررسی عوامل موثر بر دستگاه خشک کن

مهمترین فرآیند در خشک کن ها، فرآیند تبخیر است. تبخیر به عوامل زیر مرتبط می باشد:

۱- سرعت جریان هوا: با افزایش سرعت جریان هوا، سرعت خشک شدن همواره افزایش می یابد. سرعت جریان هوا داخل کابینت معمولاً بین ۱۰ تا ۱۰۰ متر بر دقیقه در نظر گرفته می شود.

۲- دمای هوا: هرچه دما افزایش یابد سرعت تبخیر نیز افزایش می یابد. دمای هوا ورودی به کابینت باید مطابق با محصول مورد نظر تنظیم گردد.

۳- رطوبت نسبی: رطوبت نسبی هوای ورودی به کابینت عامل مهمی در تعیین ظرفیت دستگاه می باشد. با کاهش رطوبت نسبی هوای ورودی به کابینت، ظرفیت کابینت افزایش می یابد.

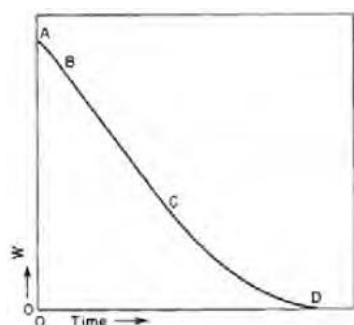
فشار هوا در طول مسیر: فشار هوا در طول مسیر تغییر می کند اما در صورتی که سرعت ثابت باشد، تاثیر چشم گیری بر فرآیند تبخیر نخواهد گذاشت.

نکته مهم

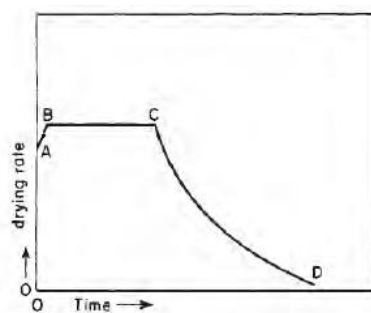
در هنگام خشک شدن میوه ها، ابتدا آب سطوح خارجی به سرعت تبخیر می شود. در مرحله بعد آب از سطوح میانی به آهستگی به سطوح خارجی رفته و سپس تبخیر می شود. این موضوع باعث ایجاد تغییرات در سرعت خشک شدن و همچنین کیفیت محصول می گردد.

اگر زمان کافی برای حرکت آب، از لایه های میانی به سطح میوه وجود نداشته باشد (سرعت خشک شدن خیلی زیاد باشد) آنگاه سطح میوه ترک می کند و به شدت سفت می شود، بنابراین کیفیت و زیبایی

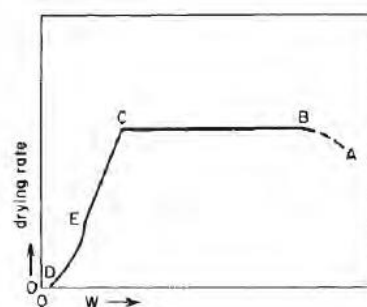
محصول کاهش می یابد.



رطوبت نسبی میوه در گذر زمان



سرعت خشک شدن در گذر زمان



سرعت خشک شدن - رطوبت نسبی میوه

## فصل ۳:

روش تحقیق

### ۳-۱- معادلات حاکم بر این پژوهش

#### ۳-۱-۱- محاسبات و طراحی دستگاه خشک کن خورشیدی

در این قسمت به محاسبه کمی و کیفی تبادل انرژی و بخار آب در سیستم می پردازیم که شامل بخشهای :  
زیر است

۱- میزان جذب انرژی خورشید توسط کالکتور

۲- ظرفیت دستگاه با توجه به انرژی جذب شده

۳- ظرفیت هوای خروجی از کالکتور برای جذب بخار آب

اعداد لازم برای این محاسبات باید از بخشهای مرتبط با سیستم مانند: محیط، میوه و... استخراج شود و سپس محاسبات لازم صورت گیرد.

جدول ۳-۱ شرایط مورد نیاز جهت خشک شدن میوه

ردیف	عنوان	توضیحات
۱	شهر	ساوه
۲	عرض جغرافیایی	۳۵/۰۳ درجه
	ارتفاع از سطح دریا	۱۱۰۸ متر
۳	ماه	تیرماه
۴	نوع میوه	سیب، پرتقال، خرما، موز، آلو
۵	مقدار میوه	۳ کیلو گرم
۶	میزان رطوبت اولیه میوه	۸۵ درصد
۷	رطوبت نهایی میوه	۱۰ درصد
۸	دمای محیط در ماه تیر	۳۱/۵

۹	رطوبت محیط	۲۵ درصد
۱۰	دمای مورد نیاز داخل کابین	۶۵ درجه سانتیگراد
۱۱	مدت زمان تابش خورشید	۸ ساعت در روز
۱۲	مقدار انرژی خشکاندن میوه	۱/۶۶ (Mj/kg)
۱۳	ضخامت میوه برش شده	۳ میلی متر
۱۴	فاصله طبقات در کابین	۲۰ سانتی متر

### ۳-۱-۲- محاسبه کلکتور

در نمونه طراحی شده کلکتور به شکل مستطیلی و در ابعاد  $۱/۲ \times ۱$  متر در ارتفاع ۲۵ سانتی متر طراحی شده است. سطح جاذب مفید در کلکتور حدوداً  $۱/۲$  مترمربع می باشد. مقطع مفید کلکتور برای عبور هوا،  $۰/۲۵$  مترمربع است.

به طور تجربی هر مترمربع کلکتور  $۳,۵$  کیلو وات ساعت در روز انرژی گرمایی مفید تولید می کند، در نتیجه انرژی تولید شده در کلکتور طراحی شده برابر است با:

انرژی تولید شده = مساحت  $\times$  مقدار کلکتور

$$۱/۲ \times (۳/۵) = ۴/۲ \text{ KWh/Day} = ۱۵/۱۲ \text{ MJ/Day}$$

در صورتی که بخواهیم چرخه برداشت محصول (دوره خشک شدن) طی ۲ روز انجام شود، آنگاه انرژی تولید شده برابر است با:

$$2(15/12)=30/24 \text{ Mj/Day}$$

تعیین مقدار ظرفیت تئوریک دستگاه خشک کن خورشیدی :

$$30/24 \div 1/66 = 18/21 \text{ kg}$$

برای ثابت نگهداشتن دمای هوا، سرعت جریان هوا داخل کلکتور پیوسته در حال نوسان است. حال با توجه به دمای بیشینه و کمینه محیط (شهر ساوه) و توان گرمایی کلکتور ، سرعت بیشینه و کمینه جریان هوا را محاسبه می نماییم. برای ساده شدن (حذف عاملهای زمان از معادلات) تمام محاسبات را برای بازه زمانی "یک ساعت" در نظر میگیریم .  $3600 \text{ sec} = 60 \text{ Min} = 1 \text{ h} = t$

گرمای جذب شده طبق داده ها بالا در یک ساعت:  $2/27$  مگا ژول

دبی جرمی و دبی حجمی در  $\text{Min}=1\text{h}=t60$  برای ماه های تیر و فرودین به صورت زیر است:

$$m = \frac{Q}{C\Delta\theta} = \frac{2.27 * 1000}{1(65 - 31.5)} = 67.76 \text{ kg/h}$$

$$= 0.93 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{67.76}{1.21} = \frac{56 \text{ M}^3}{\text{h}}$$

$$m = \frac{Q}{C\Delta\theta} = \frac{2.27 * 1000}{1(65 - 22)} = 52.79 \text{ kg/h}$$

$$= 0.72 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{52.79}{1.21} = \frac{43.6 \text{ M}^3}{\text{h}}$$

با توجه به این که مقطع مفید کلکتور برای عبور هوا  $0.25$  مترمربع میباشد، میتوان سرعت جریان هوا را اینگونه محاسبه کرد:



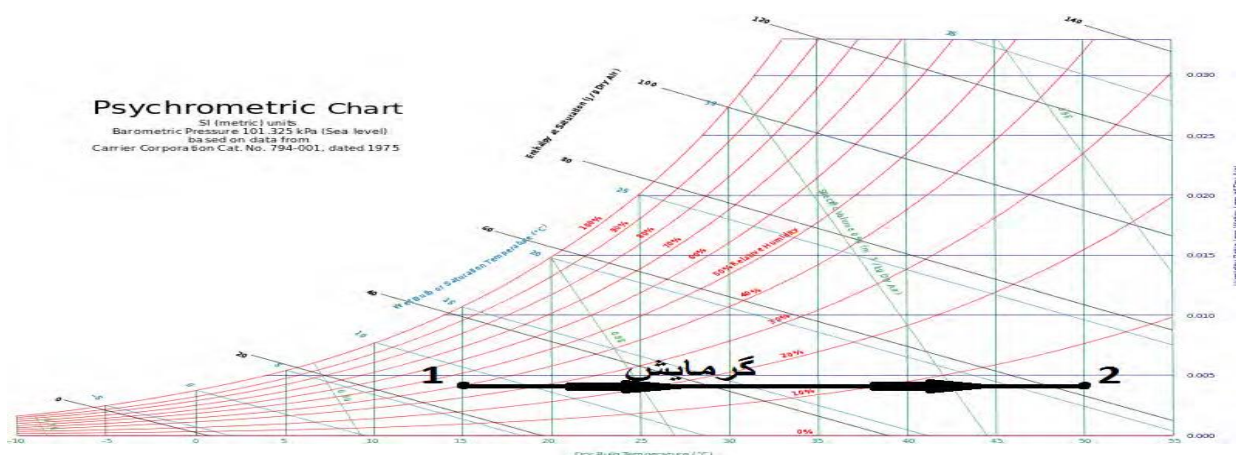
$$U_{min} = \frac{Q_{min}}{a} = \frac{0.72}{0.25} = 2.88 \text{ m/min}$$

$$U_{max} = \frac{Q_{max}}{a} = \frac{0.93}{0.25} = 3.72 \text{ m/min}$$

برای محاسبه تغییرات رطوبت نسبی داخل کالکتور از نمودار سایکومتريک استفاده میکنيم.

مختصات نقطه ۱ :

مختصات نقطه ۲ :



در نتیجه در بدترین حالت (فروردینماه) هوا با سرعت ۸٫۸ m/min ، دمای ۵۰ و رطوبت نسبی ۱۰٪ از کلکتور خارج میشود.

### ۳-۱-۳- هوای داخل کابینت

هوای خروجی از کالکتور مستقیم وارد کابینت میشود. نحوه چینش و ابعاد طبقات داخل کابینت نقش بسیار مهمی در سرعت جریان هوای داخل کابینت و کیفیت محصول نهایی دارند.

مقطع عبور هوا داخل کابینت به عرض کابینت و فاصله میان طبقات وابسته است. در نمونه ارائه شده فاصله میان طبقات ۲۰ cm و عرض کابینت ۱۰۰ cm است. بنابراین مقطع مفید برای عبور هوا برابر ۰٫۰۲ مترمربع است.

در نتیجه سرعت جریان هوای عبوری در داخل کابینت به صورت زیر محاسبه کرد.

$$U_{min} = \frac{Q_{min}}{a} = \frac{0.72}{0.02} = 36 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$$

$$U_{max} = \frac{Q_{max}}{a} = \frac{0.93}{0.02} = 46.5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$$

### ۳-۱-۴- هوای خروجی

هوای گرم پس از عبور کردن از روی میوه‌ها از طریق کانال خروجی کابینت، به بیرون هدایت می‌شود. رطوبت نسبی هوای خروجی معمولاً ۶۰-۷۰٪ می‌باشد. مجدداً میتوان ظرفیت سیستم را تعیین کرد. با توجه به آب جذب شده از میوه‌ها که به صورت رطوبت نسبی هوا نمایان می‌شود میتوان ظرفیت سیستم را محاسبه نمود. . با توجه به نمودار سایکومتریک در دمای ۵۰:

$$\frac{W_t}{W_d} = 0.31 \rightarrow W_t = (0.31)W_d$$

با توجه به کمترین مقدار هوادهی کلکتور در فروردین ماه مقدار آب گرفته شده از میوه‌ها در یک ساعت به طور متوسط به دست می‌آید.

$$W_d = M_{min} \rightarrow W_t = (0.31)67.76 = \frac{2.1000}{h}$$

حال برای این که در مدت ۲ روز محصولات آماده برداشت شوند ظرفیت دستگاه را محاسبه میکنیم.  
مقدار آب جذبشده در ۲ روز (هر روز ۶ ساعت کار) به طور متوسط برابر است با:

$$(2,1)(6)(2)=25,2$$

در نتیجه ظرفیت دستگاه بیشتر از ۳۰ کیلوگرم خواهد بود، درحالیکه در بخش محاسبات انرژی ظرفیت دستگاه ۳۰ کیلوگرم برآورد شده بود. این نکته قابل ذکر است که هوا ظرفیت لازم برای جذب آب بیشتر را

دارد اما به علت کوچک بودن کلکتور، انرژی لازم برای تبخیر در سیستم وجود ندارد، لذا ظرفیت سیستم همان ۳۰ کیلوگرم در نظر گرفته خواهد شد.

با توجه به شرایط و فرضیات موجود مقدار رطوبت حاصل شده از رابطه زیر بدست می آید:

$$m_w = \frac{m_p(m_i - m_f)}{(100 - m_f)} \quad (1-3)$$

$m_w$  = مقدار رطوبت نهایی

$m_p$  = جرم اولیه محصول

$m_f$  = درصد رطوبت نهایی

$m_i$  = درصد رطوبت اولیه

$$Q = m_w * h_{fg} \quad (2-3)$$

$Q$  = مقدار حرارت مورد نیاز برای خشک کردن میوه ها

$m_w$  = مقدار رطوبت نهایی

$h_{fg}$  = مقدار گرمای نهان تبخیر

$$h_{fg} = 4.188 * 10^3 (597 - 0.56(T_{pr}))$$

$T_{pr}$  = دمای محصول (درجه سانتیگراد)

برای محاسبه مقدار انرژی کل از رابطه زیر استفاده میکنیم:

$$E = \dot{m}(h_f - h_i)Td \quad (3-3)$$

$h_i$  و  $h_f$  = انتالپی نهایی و انتالپی اولیه

$\dot{m}$  = مقدار جرم هوای مورد نیاز

$Td$  = مقدار زمان خشک شدن میوه

$$\dot{m} = \frac{m_{dr}}{(w_f - w_i)} \quad (4-3)$$

$m_{dr}$  = مقدار جرم نهایی پس از جدا شدن رطوبت

$$m_{dr} = \frac{m_w}{t_d} \quad (5-3)$$

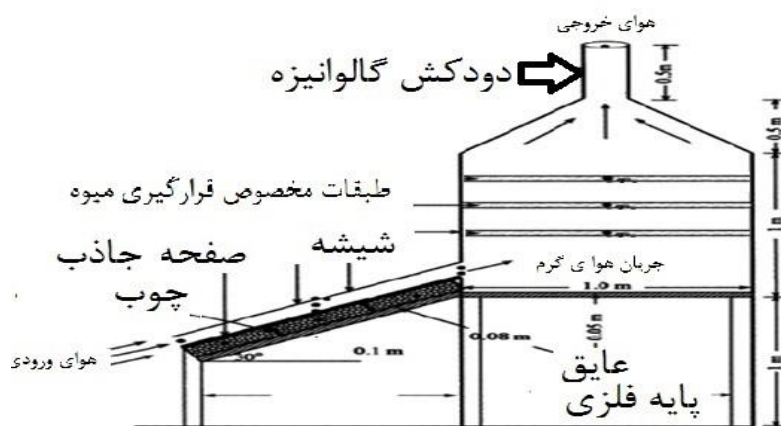
## ۲-۳- طراحی دستگاه خشک کن

خشک کن خورشیدی از دو واحد اصلی تشکیل شده است:

الف- در یک واحد جمع کننده مسطح که انرژی خورشیدی در آن جذب می گردد ، به هوای گرم منتقل می شود که توسط انتقال طبیعی به محفظه خشک شدن منتقل می شود.

ب- محفظه خشک کردن که حاوی برش های میوه در حال خشک شدن است.

مطابق با شکل زیر : این نوع خشک کن از نوع قفسه ای می باشد به طوری که میوه در محفظه قفسه ای قرار گرفته می شود.



شکل ۱-۳ ساختار دستگاه

با توجه به اینکه دستگاه در محیط خارجی قرار داده می شود ، چهار چوب کلی دستگاه از پروفیل و نبشی ساخته شده تا دوام بیشتری داشته باشد.

بخش جاذب گرما از چهار لایه تشکیل شده است:

(۱) صفحه چوبی برای کاهش انتقال حرارت از نوع MDF در پایین ترین قسمت قرار داده شده است.

(۲) عایق حرارتی از نوع یونولیت به ضخامت ۳ سانتی متر در بخش بالایی صفحه چوبی قرار داده شده است.

(۳) صفحه سیاه جاذب از ورق گالوانیزه به ضخامت ۰.۷ میلیمتر برای جذب گرما و حرارت خورشید استفاده شده است.

۴) لایه بالایی از شیشه ۴ میلی متر استفاده شده است.

بخش قفسه میوه از از سه بخش تشکیل شده است:

۱) کابین از پروفیل و نبشی و از صفحه شیشه ای استفاده شده است.

۲) طبقات مخصوص قرارگیری میوه از چوب و توری آلومینیومی تشکیل شده است.

۳) دودکش گالوانیزه برای به وجود آوردن حرکت طبیعی هوای گرم در خروجی دستگاه به وجود آمده است.

در طراحی دستگاه موارد زیر مورد توجه قرار گرفته است:

الف - مقدار رطوبت از مقدار مشخصی سیب مرطوب خارج شود ،

ب- دوره برداشت محصول که در طی آن خشک شدن لازم است ،

پ-ساعت های آفتاب روزانه برای انتخاب زمان خشک شدن کل ،

ت-مقدار هوا مورد نیاز برای خشک کردن ،

ث-تابش خورشیدی روزانه برای تعیین انرژی دریافت شده توسط خشک کن در روز ،

ج-سرعت باد برای محاسبه ابعاد دریچه هوا.

### ۳-۳ تصاویر مراحل ساخت دستگاه



شکل ۲-۳ مراحل ساخت -شاسی دستگاه



شکل ۳-۳ مراحل ساخت- عملیات جوشکاری





شکل ۳-۴ مراحل ساخت-برشکاری



شکل ۳-۵ مراحل ساخت-آماده سازی



شکل ۳-۶ مراحل ساخت-آماده سازی



شکل ۳-۷ مراحل ساخت-مونتاژ





شکل ۳-۸ - تصویر نهایی دستگاه خشک کن میوه

## فصل ۴:

### نتایج و تفسیر آنها

## ۴-۱ مقدمه

چرا باید از انرژی خورشیدی استفاده کنیم؟

۱- دسترسی آسان

۲- انرژی خورشیدی برای محیط زیست بسیار مناسب می باشد.

۳- عدم احتیاج به استفاده از شبکه برق رسانی شهر در صورت استفاده از انرژی خورشیدی.

۴- استفاده بهینه و مفید از زمین های بلا استفاده برای تولید انرژی خورشیدی.

۵- انرژی خورشیدی باعث ایجاد اشتغال و رشد اقتصادی در کشور می شود.

۶- انرژی خورشیدی یکی از منابع رایگان برای تولید و تامین انرژی می باشد.

امروزه در سراسر دنیا استفاده از انرژی های تجدید پذیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. انرژی خورشیدی یکی از مهم ترین گونه های انرژی تجدید پذیر است. این انرژی فاقد آلودگی بوده و در تمام نقاط کره زمین و بخصوص در مناطق گرم به وفور قابل دسترس می باشد.

انرژی، نیروی اصلی و اساس زندگی انسان ها است. دوره های مختلف تمدن انسان، بر اساس بهره گیری از منابع انرژی گوناگون شکل گرفته است. بالا رفتن استاندارد سطح زندگی در کشورها و افزایش جمعیت باعث تشدید مصرف انرژی شده است. همگان به خوبی می دانند که ذخایر سوخت های فسیلی در آینده ای نه چندان دور، کاهش یافته و سرانجام به اتمام خواهد رسید. اثرات این سوخت ها از طریق تولید گازهای گلخانه ای و گرم شدن زمین، باران های اسیدی و سایر پدیده های زیست محیطی بر اکوسیستم، آب و هوا و سلامتی موجودات زنده باعث شده است تا منابع انرژی های تجدید پذیر خصوصا انرژی خورشیدی و نیروگاه خورشیدی در کانون توجه محققان قرار بگیرد.

در حال حاضر انرژی خورشیدی به عنوان یکی از مهم ترین انرژی های تجدید پذیر به طور گسترده مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. شواهد بسیاری وجود دارد که نشان می دهد انرژی خورشیدی، پتانسیل بالایی برای تأمین بخش قابل توجهی از انرژی مورد نیاز بسیاری از کشورهای جهان را دارد. به همین دلیل، بسیاری از کشورهای جهان در تلاش اند تا با جایگزین کردن انرژی خورشیدی به جای سوخت های فسیلی، حداکثر استفاده از این نوع انرژی را به دست آورده و زیان های ناشی از

مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش دهند.

کشور ایران از منابع قابل توجه طبیعی و انسانی برای مدرنیزه کردن عرضه انرژی و انتقال به یک سیستم پایدار انرژی برخوردار می باشد. همچنین، ایران از فرصت های بی شمار در رابطه با استفاده از منابع غنی انرژی های تجدیدپذیر نظیر شرایط مناسب برای بکارگیری سودآور انرژی باد، عرصه های بسیار خوب برای توسعه نیروی برق آبی و زمینه ای ایده آل برای استفاده از انرژی خورشیدی برخوردار است. البته هر گونه تغییری در سیستم انرژی، نیازمند بررسی شفاف و دقیق مشکلات و کمبودها می باشد. یارانه های کلان کنونی برای کنترل قیمت انرژی، از ایجاد و توسعه بازاری مساعد برای تکنولوژی های مرتبط با کارایی انرژی و منابع انرژی های تجدید پذیر جلوگیری می نماید. در این راستا جهت اشتغال و بهره برداری از انرژی خورشیدی اقدام به ساخت دستگاه خشک کن خورشیدی میوه نمودیم.

خشک کن خورشیدی ساخته شده یک دستگاه ۱۰۰ کیلوگرمی است که با قرار دادن چرخ امکان جابه جایی فراهم می شود. این دستگاه قادر است بین ۵ تا ۱۰ کیلوگرم میوه خشک را روزانه تحویل دهد. در محل ورود هوای تازه به دستگاه از فیلتر استفاده شده تا از ورود گرد و خاک و حشرات به سیستم جلوگیری کند. ۳ سینی توری برای قراردادن میوه تر در مسیر باد گرم تعبیه شده و امکان اضافه کردن سینی امکان پذیر است و برای خشک کردن میوه ها بین ۴ تا ۵ ساعت وقت لازم است. در آزمایش های اولیه موفقیت دستگاه در خشک کردن میوه (شامل خرمالو، موز، سیب و پرتقال) به اثبات رسید. این دستگاه میتواند برای خانوارهای حتی فاقد زمین که دسترسی به میوه های محلی و یا بازار را داشته باشند بکار گرفته شود و با تولید میوه خشک یک معیشت محلی را ایجاد کند.

#### ۴-۲ مراحل ساخت دستگاه به شرح ذیل انجام گرفت:

۱- مطالعه مقالات مربوط به ساخت دستگاه خشک کن خورشیدی

۲- انتخاب طرح کلی دستگاه

۳- امکان سنجی ساخت و اعمال تغییرات در طرح اولیه

۴- انتخاب و خرید متریال

۵- ساخت دستگاه

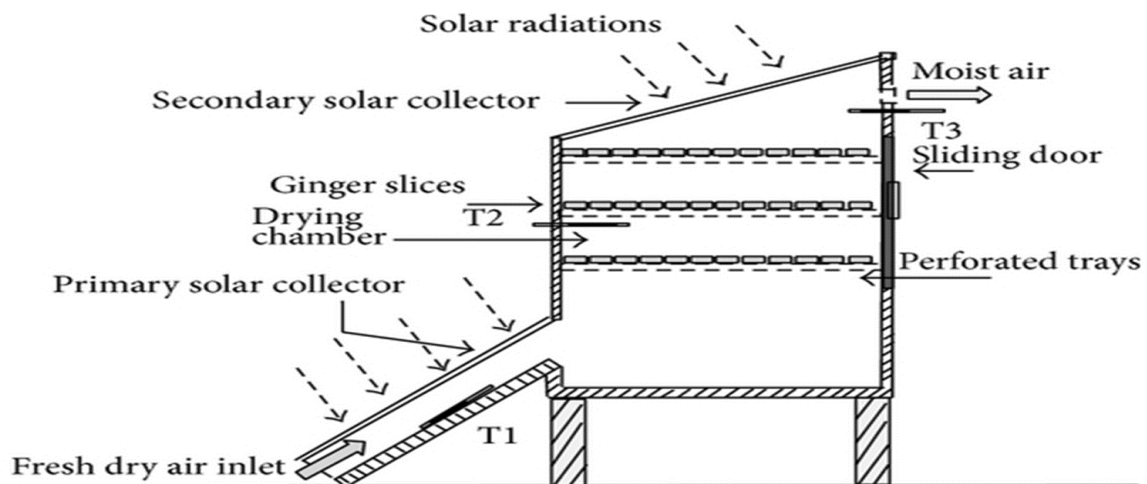
۶- اتمام ساخت و نصب دستگاه در محل دانشگاه

۷- آزمایش دستگاه

ساختار دستگاه از مقاله جناب آقایان C. ۲, M. Kamta\G. B. Tchaya ,

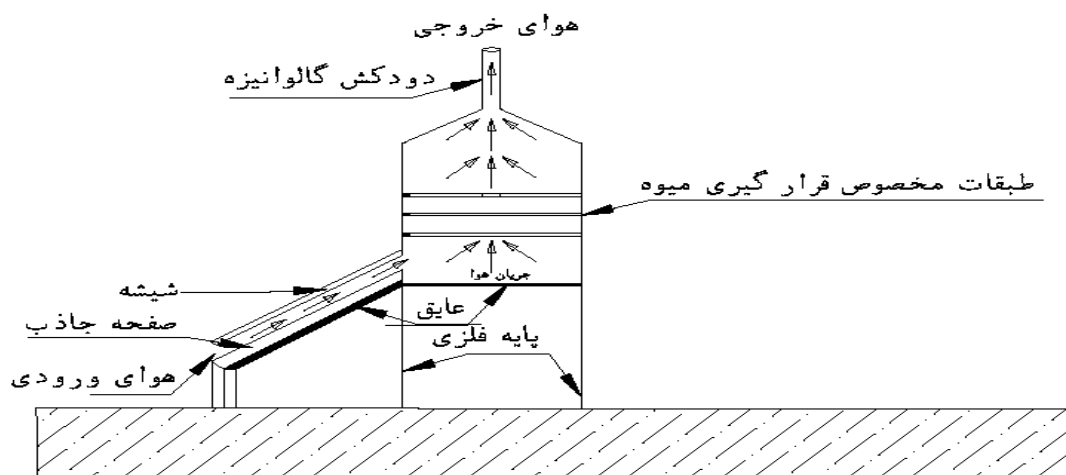


Kapseu ۳ اقتباس گردید که با کمی تغییرات در آن اقدام به ساخت دستگاه نمودیم.

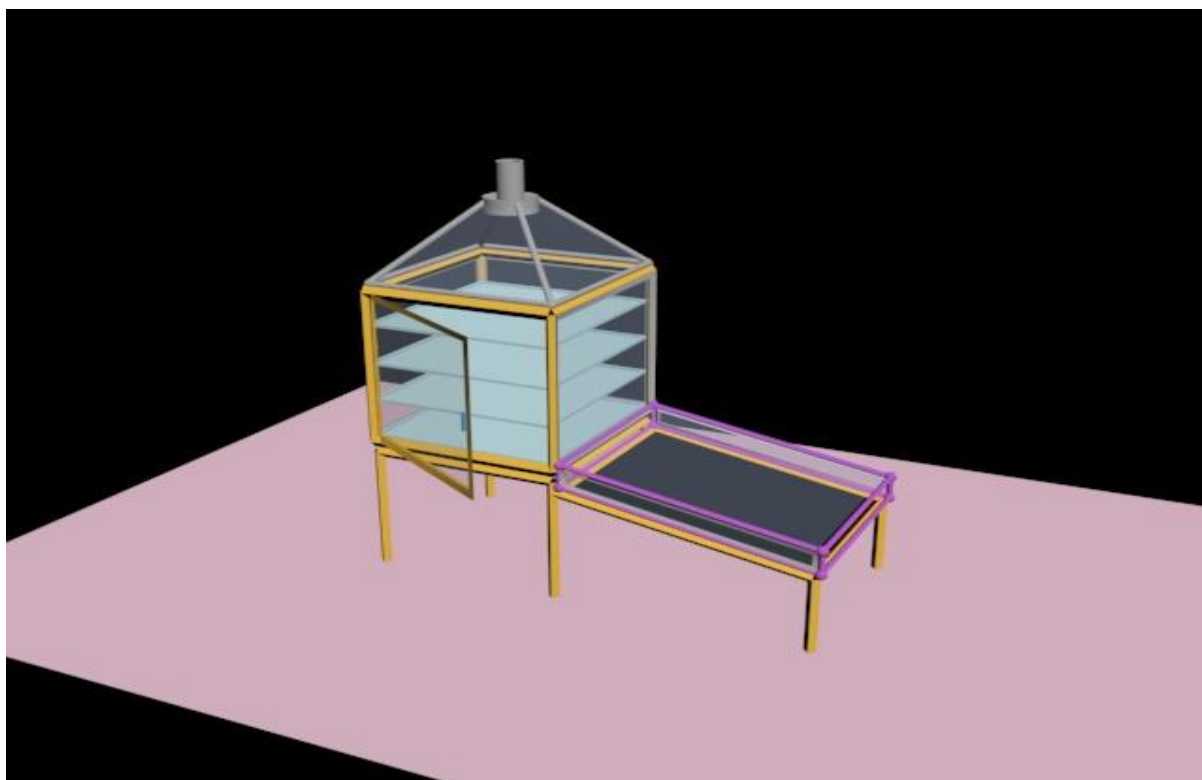


شکل ۴-۱- تصویر خشک کن میوه اولیه

در طی مطالعات و بررسی های انجام شده در مورد دستگاه خشک کن خورشیدی به مقاله ای دست یافته ایم که مبنای کار بر اساس این مقاله انجام گردید در شکل ۳-۹ تصویر آن را مشاهده می نمائید .



شکل ۴-۲- طراحی خشک کن با نرم افزار اتوکد



شکل ۴-۳- تصویر ۳ بعدی دستگاه با استفاده از نرم افزار سه بعدی

پس از بررسی و مطالعات مقاله کمی تغییرات در جزئیات طرح انجام دادیم و طرح به صورت ۳ بعدی ترسیم شکل ۳-۱۲ و اقدام به ساخت دستگاه نمودیم.

خشک کن خورشیدی از دو واحد اصلی تشکیل شده است:

واحد اول- در یک واحد جمع کننده مسطح که انرژی خورشیدی در آن جذب میگردد ، به هوای گرم منتقل می شود که توسط انتقال طبیعی به محفظه خشک شدن منتقل می شود.

واحد دوم- محفظه خشک کردن که حاوی برش های میوه در حال خشک شدن است.

طبق شکل ۳-۱۱ خشک کن ساخته شده از نوع قفسه ای میباشد به طوری که میوه در محفظه قفسه ای قرار گرفته می شود.

#### ۴-۱-۲- انتخاب متریال و مصالح مورد نیاز جهت ساخت دستگاه

۱- صفحه جاذب از نوع گالوانیزه با رنگ سیاه

۲- جهت استحکام دستگاه از پروفیل ونبشی استفاده شده است

۳- انتخاب شیب مناسب جاذب: طبق عرض جغرافیایی محل نصب (۳۸ درجه)



شکل ۴-۴- نصب دستگاه

پس از ساخت دستگاه و نصب آن در محل مربوطه طبق شکل ۳-۱۲ اقدام به آزمایش و تست دستگاه نمودیم.

۳-۱-۴ آزمایش دستگاه



شکل ۴-۵- اندازه گیری دمای محیط



روز جمعه مورخه ۲۶/۰۷/۱۳۹۸

ساعت ۱۰ صبح

دمای هوا ۲۴ درجه سانتی گراد مطابق شکل ۳-۱۴

هوا ابری

میوه های مورد آزمایش قرار گرفته

(سیب، موز، خرمالو و، پرتقال و آلو)

ابتدا میوه ها را در ابعاد و قطعات مورد نیاز (۳ میلی متر) برش زدیم و وزن اولیه میوه را بوسیله ترازو

دیجیتال ثبت نمودیم سپس برشهای میوه را در محل مربوطه در قفسه ها قرار دادیم.

دمای ورودی و دمای داخل کابین در شرایط اولیه اندازه گیری طبق جدول شماره ۳-۱۵ نمودیم.



شکل ۴-۶- وزن اولیه میوه



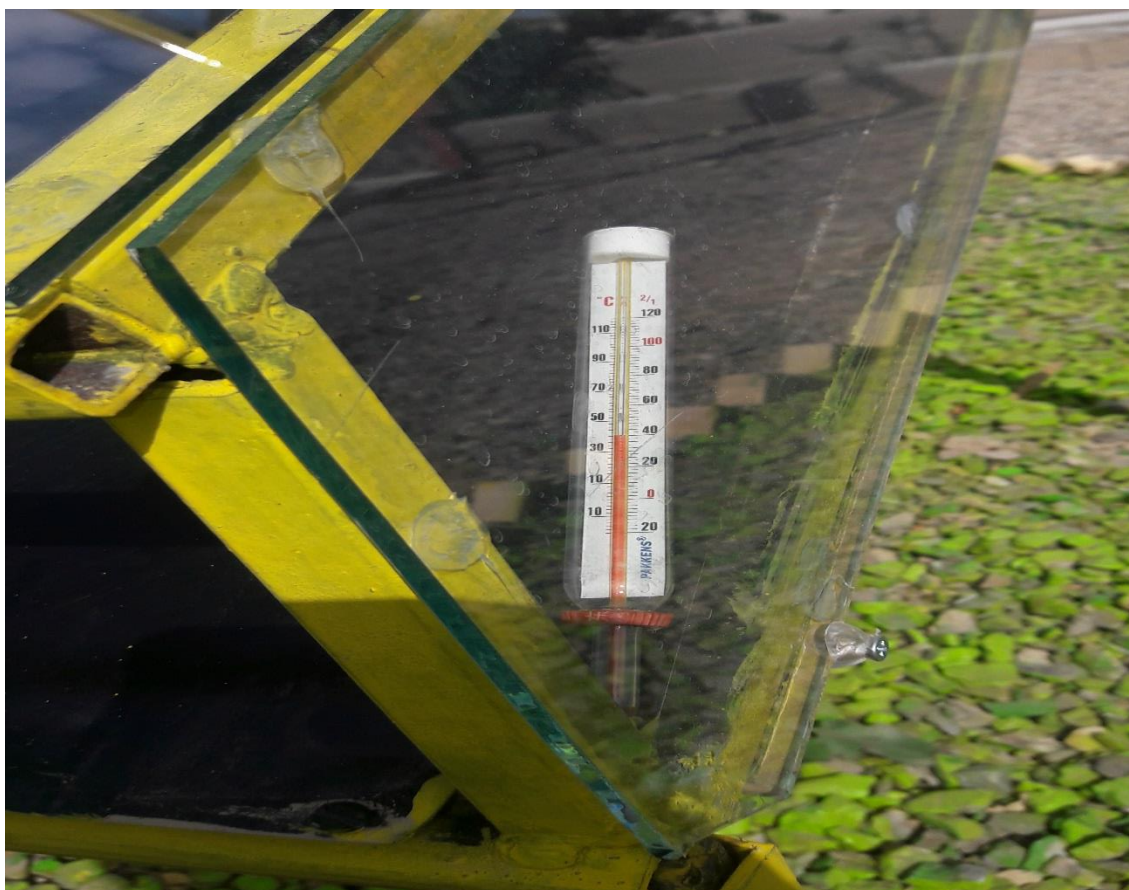
شکل ۴-۷- وزن اولیه میوه

شرح	وزن اولیه	ساعت	دمای هوا
سیب	۱۴-۱۰ گرم	۱۰ صبح جمعه ۱۳۹۸/۰۷/۲۶	۲۴ درجه
موز	۵-۷ گرم		دمای ورودی
خرمالو	۱۰-۷ گرم		۲۸
آلو	۳۰ گرم		دمای داخل کابین
پرتقال	۱۰-۷ گرم		۳۲

جدول ۴-۱- وزن و دمای اولیه میوه



شکل ۴-۸- قرار دادن میوه در قفسه ها



شکل ۴-۹- اندازه گیری دما در ورودی کلکتور

سپس طبق جدول ۳-۲ میوه ها را در ساعت ۱۳ از داخل کابین خارج کردیم و وزن نهایی را استخراج نمودیم.



شکل ۴-۱۰- وزن میوه های خشک شده

شرح	وزن نهایی	ساعت	دمای هوا
سیب	۴ گرم	۱۳ ظهر جمعه ۱۳۹۸/۰۷/۲۶	۲۷ درجه
موز	۱ گرم		دمای ورودی
خرمالو	۳ گرم		۳۵
آلو	۱۳ گرم		دمای داخل کابین
پرتقال	۶ گرم		۴۰

جدول ۴-۲- وزن میوه ها پس از خشک شدن

در مرحله پایانی تست را با شرایط قرار دادن فن انجام دادیم که نتیجه به شرح جدول زیر استخراج گردید.

شرح	وزن نهایی	ساعت	دمای هوا
سیب	۴ گرم	۱۲ ظهر جمعه ۷۶/۱۳/۳۹۸ ۲۶/۰۷/۱۳۹۸	۲۷ درجه
موز	۱ گرم		دمای ورودی
خرمالو	۳ گرم		۳۵
آلو	۱۳ گرم		دمای داخل کابین
پرتقال	۶ گرم		۴۰

جدول ۳-۴- وزن میوه ها پس از خشک شدن توسط فن



## **فصل ۵:**

**جمع‌بندی و پیشنهادها**

## ۵-۱ مقدمه

به طور کلی خشک کردن یکی از روش های موجود برای افزایش زمان ماندگاری برخی از مواد غذایی به خصوص میوه ها و سبزی هاست. در این روش، فعالیت آبی مواد غذایی کاهش می یابد و از فساد میکروبی در آنها جلوگیری می شود.

خشک کردن میوه در کشوری مانند ایران قدمتی دیرینه دارد. تاریخچه تولید میوه های خشک به ۱۷۰۰ سال پیش از میلاد مسیح برمی گردد. در آن زمان، مردمان مدیترانه و خاورمیانه، میوه های تابستانی را خشک و آذوقه زمستانشان می کردند.

در این تحقیق پیش رو ابتدا نیاز مندی کشاورزی کشاورز مورد بررسی کلی قرار گرفت و در مورد راه های ارائه محصول به بازار تحقیق و پژوهش و مطالعات زیادی صورت گرفت و تصمیم به در رابطه با ساخت دستگاه خشک کن خورشیدی نمودیم .

پس از مطالعه مقالات ایرانی و خارجی در خصوص خشک کردن میوه با استفاده از انرژی خورشیدی، چارچوب کلی ساخت دستگاه خشک کن میوه خورشیدی انتخاب و مصالح و مواد مورد نیاز جهت ساخت تعیین و از بازار تهیه گردید.

پس از ساخت دستگاه، اقدام به نصب در شرایط جوی و محیطی شهر ساوه گردید و آزمایشهای لازم در خصوص دستگاه انجام گرفت و به نتایج قابل توجه دست پیدا کردیم.

## ۵-۲- جمع‌بندی

طبق جمع‌بندی به عمل آمده نتایج زیر حاصل گردید:

با توجه به شرایط آب و هوایی، دمای مورد نیاز (۱۵-۲۰ درجه اختلاف دما با محیط) برای خشک کردن را می‌توان با این دستگاه بدست آورد.

کاهش زمان خشک شدن نسبت به روش سنتی با شرایط محیطی و دمایی یکسان.

در صورت استفاده از یک فن (برق مورد نیاز فن از طریق پنل خورشیدی تامین میشود)، زمان خشک کردن میوه از ۳ ساعت به نصف کاهش می‌یابد.

میوه‌های در یک محیط تمیز و عاری از میکروب و گرد و خاک خشک میشوند.

## ۵-۳- پیشنهادها

پیشنهاد میگردد

- ۱- جهت بهبود دستگاه از فن دارای المنت گرمایشی تجهیز گردد.
  - ۲- دستگاه متناسب با محیط و مسیر تابش خورشید متغیر و با توانمندی تعیین مسیر تابش خورشید تغییر نماید.
  - ۳- استفاده از هوای گرم خروجی از دستگاه جهت پیش گرمایش.
  - ۴- استفاده از دمپر جهت جلوگیری از دمای زیاد داخل کابین خشک‌کن.
- لذا پیشنهاد میگردد جهت تحقیقات آتی به روش ساخت کلکتور با تغییر وضعیت نسبت به مسیر تابش خورشید انجام و طرح بهینه شود

# مراجع

[1]. <http://www.satba.gov.ir/br/sun/potential>

[۲]. فیروز مجرد , کامران مرادی, "نگرشی بر ناموزونی ها و روندهای روزهای آفتابی در ایران", نشریه جغرافیا و توسعه, صفحات ۱۵۳-۱۶۶, ۱۳۹۳.

[۳]. دفتر پتانسیل سنجی و ارزیابی منابع, "گزارش سایتهای پرتانسیل و ارزیابی منابع انرژیهای تجدید پذیر کشور", گزارش ۹ - استاتن سیستان و بلوچستان, سازمان انرژی های تجدید پذیر, وزارت نیرو, بهار ۱۳۹۸.

[4]. Kanta Ghosh ,Gopi, "Solar Energy: The Infinite Source", Ashish publishing house, ۱۹۹۱.

[5]. <https://www.jodidata.org/>, Last cited August 2019

[6]. <https://www.ipcc.ch/>, Last cited September 2019

[7]. Silvio Marcacci, "Renewable Energy Job Boom Creates Economic Opportunity As Coal Industry Slumps", <https://www.forbes.com/sites/energyinnovation/2019/04/22/renewable-energy-job-boom-creating-economic-opportunity-as-coal-industry-slumps/>.

[8]. Anna McGinn, "Fact Sheet - Jobs in Renewable Energy, Energy Efficiency, and Resilience", Environmental and energy study institute, (2019).

[9]. A. Laguarda, G. Giacosa, R. Alonso-Suárez, G. Abal, "Performance of the site-adapted CAMS database and locally adjusted cloud index models for estimating global solar horizontal irradiation over the Pampa Húmeda", Solar Energy, Science direct, Vol ۱۹۹, Pages 295-307, 2019.

[۱۰] مرتضی عظیمی "مطالعه آزمایشگاهی امواج خورشیدی بر روی میوه انگور" دانشگاه پیام نور استان گیلان-۱۳۹۵.

[۱۱] امین ضیاء فروغی "مطالعه آزمایشگاهی امواج خورشیدی بر روی سیب زمینی" سال ۱۳۹۵.

[۱۲] آقای مجید رهنما "مطالعه کاهش رطوبت خرما با دمای پایین" در سال ۱۳۸۹.

[۱۳] محمد کاظم کوشش "(یک روش عددی - تحلیلی برای طراحی خشک کن خورشیدی میوه " ، دانشگاه تهران - دانشکده فنی - ۱۳۷۶.

[14] G. B. Tchaya, M. Kamta, C. Kapseu, "Improvement of an Indirect Solar Dryer with Forced Convection by Variation of Airflow Mode ", Vol. ۴, , ISSUE 1, January 2014.

## **Abstract**

**The use of solar energy in a country such as Iran, which enjoys this abundant supply, is self-evident, and investing in renewable energies always creates employment and economic mobility. In the countryside, there are crops, which are not easily accessible to the local community for a variety of reasons, such as distance from the market and crop vulnerability. On the other hand, some products have a major role in the household economy due to lack of income, including berries. To help households survive and prevent crop rot, the project explored the possibility of building a solar dryer that does not need another source.**

**The solar dryer built in this project is a 75kg machine that can be moved by wheel mounting. The machine is able to deliver between 5 and 10 kg of dried fruit daily. At the inlet of fresh air into the machine, a filter is used to prevent dust and insects from entering the system. Three lattice trays are embedded to keep the fruit more in the hot wind direction and take between 4 and 5 hours to dry the fruit.**

**In the early experiments, the machine proved successful in drying fruit, vegetables and Mohammadi flowers. This device can be used for even landless households that have access to local fruit or market and can generate local livelihoods by producing dried fruit.**

**Generally a solar dryer made of two parts 1- fruit cabinet 2- heat absorber section**

**Keywords: Dryer, solar collector, dried fruit**



**Energy Institute of Higher Education**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the  
Degree of Master of Science**

## **Title**

**Evaluation of impact of air flow, drying rate and quality of dried fruit by  
solar dryer**

**By:**

**Mohsen Ghorbandoust**

**Supervisor:**

**Dr. M.Jalilian**

**Advisor:**

**Dr. M.Mirzaei**

**December 2019**