طراحی و ساخت خشک کن مادون قرمز

امیر شمسا، غلامرضا چگینی
دانشجو و عضوهیئت علمی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

چکیده

اغلب محصولات کشاورزی دارای رطوبت اولیه بالایی می باشند که به همین علت به شدت در معرض افت کیفیت قرار میگیرند.آب درون مواد طی عملیات خشک شدن تبخیر می شود که این باعث کم شدن فعالیت میکروارگانیسم ها در مواد غذایی و در نتیجه نگهداری بهتر محصول از لحاظ بیولوژیکی می شود.

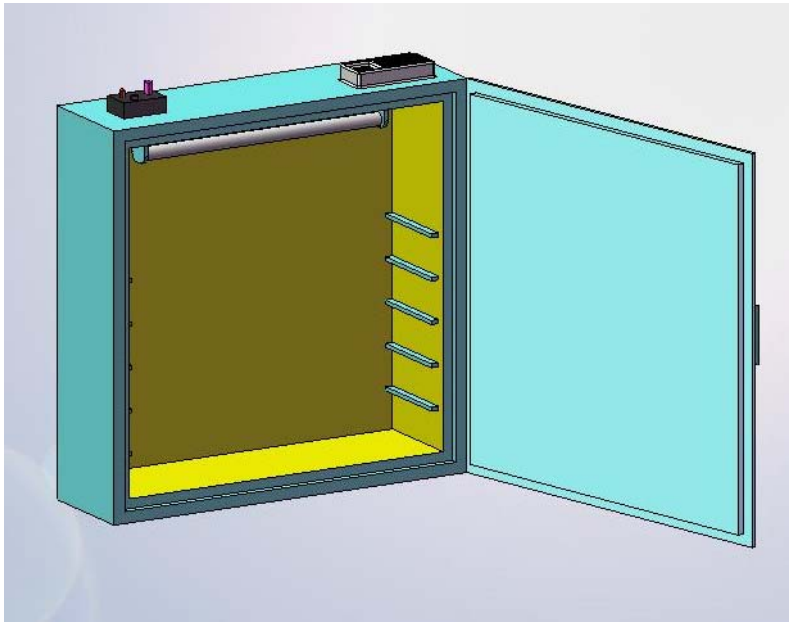
با توجه به ضایعات بالای محصولات کشاورزی و نیز مواد غذایی می بایست در کنار داشتن سیستم های مدرن نگهداری از روش هایی مانند خشک کردن برای تبدیل کردن این محصولات فاسد شدنی به محصولات با ماندگاری طولانی استفاده کنیم که بتوان آنها را با کمترین تجهیزات کنترل و برای دوره زمانی طولانی تری نگهداری کرد(۳). خارج کردن آب از محصول نیازمند صرف انرژی بسیار بالایی می باشد.

راندمان خشک کن با توجه به دو عامل زمان و انرژی باید از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد.نفوذ گرمایی پایین و سخت شدن سطح محصول اصلی ترین دلیل کند بودن عملیات خشک کردن در روش هوای داغ می باشد. تیره شدن محصول و از بین رفتن بعضی از املاح و مواد مهم محصول از دیگر مضرات این روش است(٦).

با افزایش تقاضا برای محصول با کیفیت بالا و نیز عملیات ساده تر وکمتر و صرفه جویی در مصرف انرژی، نیاز بیشتری به تحقیق و بررسی عوامل موثر در جهت نیل به اهداف فوق احساس شد. که این امر، نیازمند طراحی و ساخت سیستم های جدید با استفاده از آخرین تکنولوژی های بدست امده می باشد. تکنولوژی های جدید در سال های اخیر در جهت افزایش نرخ خشک کردن و بهبود کیفیت محصول نهایی به موفقیت های قابل توجهی دست یافته اند(۱۰). تشعشع مادون قرمز سالهاست در علوم مختلف پزشکی و صنعتی بصورت کارآمدی مورد استفاده قرار میگیرد. کاربرد انرژی مادون قرمز برای خشک کردن محصولات کشاورزی در جهت حفظ و نگهداری بهینه این محصولات روشی نسبتا نوین می باشد(۹). هدف از این پژوهش طراحی و ساخت خشک کن مادون قرمز با راندمان بالا،هزینه پایین و راه اندازی ساده و ارزیابی کارکرد آن می باشد.

ساخت خشک کن :

شکل ۱ ، خشک کن ساخته شده را نشان می دهد. خشک کن با ابعاد کلی۰/۳× ۱×۱ متر دارای ظرفیت ۱٦ کیلوگرم در ساعت سبزیجات خام می باشد. مشخصات اصلی خشک کن ساخته شده در جدول ۱ بیان شده است. خشک کنهای کابینتی بدلیل طراحی ساده و کم هزینه و سیستم راه اندازی آسان بصورت گسترده ای در خشک کردن سبزیجات بکار می رود.(۷)



شکل۱- خشک کن مادون قرمز

همچنین بر حسب نیاز میتوان تجهیزات لازمه را به این خشک کن اضافه نمود. خشک کن های کابینتی محدودیت کاربرد بصورت یکپارچه مانند سیستمهای دارای نوار نقاله را دارند.(٤)

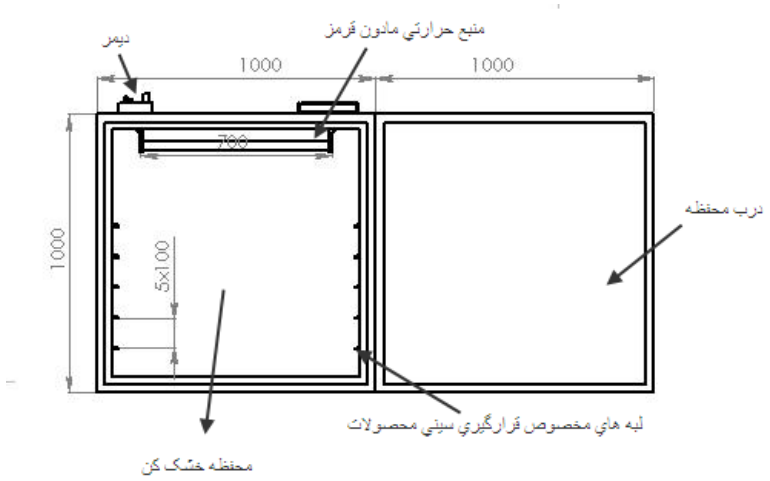
جدول۱- مشخصات خشک کن مادون قرمز

قطعه	مشخصات
ابعاد کلی(بر حسب متر)	۱(طول)×۱ (ارتفاع) × ۰/۳ (پهنا)
جنس بدنه	استیل ۳۰٤
منبع تشعشع مادون قرمز	کوارتز مادون قرمز
طول موج لامپ مادون قرمز	۳ – ۲/٤ میکرومتر (طول موج متوسط)
طول منطقه تشعشع	۷۰ سانتیمتر
توان ورودی لامپ	۱۷ کیلووات
لاستیک درب	سیلیکون مقاوم تا ۳۰۰ درجه

-بدنه محفظه

بدنه محفظه خشک کن از ورق استیل ۳۰٤ با ضخامت یک میلی متر ساخته شده که ضد زنگ می باشد. برای داشتن حداقل اتلاف انرژی گرمایی از داخل به محیط اطراف، محفظه بصورت دوجداره طراحی شده است(۵). بین دو جداره از پشم شیشه استفاده شده تا انتقال حرارت در کمترین حد ممکن باشد. درب محفظه نیز به صورت دو جداره و عایق طراحی و ساخته شده است و از آنجا که اتصالات و لولاها امکان خروج حرارت از سیستم را افزایش می دهد درب از یک طرف لولا شده است و در طول مسیر تماس درب با محفظه از لاستیک نسوز استفاده شده است. جنس لاستیک نسوز بکار رفته در این خشک کن، سیلیکون می باشد که تا دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد خاصیت نسوز بودن خود را حفظ میکند. تنها مشکلی که در کاربرد این لاستیک وجود دارد این است که لاستیک سیلیکون قابلیت چسبیدن به فولاد را ندارد.

برای حل این مسأله لاستیک را باید با پرچ یا اتصالات مشابه در محل مورد نظر نصب کرد. بدین ترتیب محفظه بصورت عایق ساخته شده است. شکل ۲ نمای شماتیک خشک کن از روبرو می باشد. همانطور که مشاهده می شود در قسمت محفظه خشک کن جداره عایق ایجاد شده در تمام قسمتها دارای قطر ۵ سانتیمتر می باشد که نفوذ حرارت از داخل خشک کن به محیط بیرون را بسیار پایین و در حد صفر آورده است.



شکل۲- نمای شماتیک خشک کن مادون قرمز

در داخل بدنه خشک کن سوراخهایی به منظورخروج سیم های مربوط به لامپ مادون قرمز و دیگر سیم های مربوط به تجهیزات اندازه گیری، مانند ترموکوپل، فشارسنج و ... تعبیه شده است. زمانی که عملیات خشک کردن محصول آغاز می شود، رطوبت از لایه های درونی محصول به سطح آن آمده و تبخیر می شود.

زمانی که این رطوبت وارد هوای داخل محفظه شد، فشار هوا افزایش می یابد. افزایش فشار، بر روی عملیات خشک کردن تاثیر میگذارد(۱) و لازم است نقش این عامل را نیز در آزمایشات و نتایج آن در نظر گرفت.

برای کنترل این رطوبت، می توان از هواکش در بدنه خشک کن استفاده کرد و یا از دستگاه ذخیره کننده بخار(Steam Reservoir) استفاده کرد که دارای قابلیت تنظیم فشار بوده و در صورتی که فشار از مقدار تنظیم شده فراتر رود، دستگاه فعال شده و فشار را در حد موردنظر ثابت نگه میدارد.

راه آسانتر و کم هزینه تر دیگری که میتوان استفاده کرد، ایجادسوراخهایی در قسمت بالای خشک کن می باشد که مانند سوپاپ عمل کرده و قابلیت بسته و باز شدن داشته باشند. بدین ترتیب زمانی که فشار سنج، نشان دهنده افزایش فشار بیش از حد مورد نظر باشد، با باز کردن سوپاپ ها میتوان دوباره فشار هوای داخل محفظه را به مقدار مورد نظر رساند. از آنجا که این خشک کن در حال حاضر بصورت آزمایشی مخصوص سبزیجات طراحی شده است استفاده از این روش مقرون به صرفه تر و مناسبتر است.

از آنجا که دما با فاصله از منبع مادون قرمز رابطه معکوس دارد و هرچه محصول از منبع مادون قرمز دورتر باشد دما در سطح آن کمتر خواهد بود(۲)، به منظور اینکه بتوان از این عامل در آزمایشات استفاده کرد، بر روی جدارهای جانبی خشک کن برآمدگی هایی تعبیه شده است که سینی محصولات بر روی آن قرار میگیرد.

برای جابجایی طبقات در فواصل مختلف نسبت به لامپ مادون قرمز، چهار برآمدگی به فاصله ۱۵ سانتی متر از یکدیگر در نظر گرفته شده است. بنابراین و با توجه به شکل ۲، محصول مورد آزمایش را میتوان در ۵ فاصله ۱۵، ۳۰، ٤٥، ٦٠ و ۷۵ سانتیمتری از لامپ مادون قرمز قرار داد که با توجه به تاثیرات این فاصله در عملیات خشک کردن، بهترین فاصله برای انواع محصولات قابل بررسی می باشد.

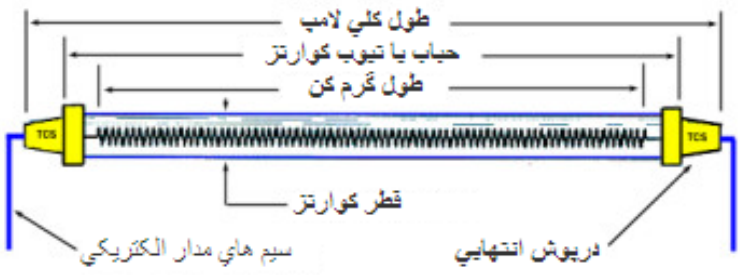
-منبع مادون قرمز

راندمان هر سیستم گرمایشی بر اساس انرژی مادون قرمز عمدتاً به نوع منبع حرارتی مورد استفاده بستگی دارد. از آنجا که انرژی مادون قرمز فقط زمانی به گرما تبدیل می شود که ماده تشعشع را جذب کند، لازم است که منبع حرارتی انتخاب شود که تشعشعات ساطع شده از آن در دامنه ای باشد که ماده مورد نظر جهت خشک کردن بیشترین جذب را داشته باشد(۳).

مطالعات روی جذب تشعشع مادون قرمز توسط مواد غذایی نشان داده است که این مواد در دامنه موجی ۲/۵ تا ۳ میکرومتر، قویترین نرخ جذب را دارند.(۱۰)

از اینرو، در این خشک کن، منبع مادون قرمز بکار گرفته شده دارای طول موج ۲/٤ تا ۳ میکرومتر می باشد. یک گرم کن مادون قرمز کوارتز، با راندمان ۸۰٪ در تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مادون قرمز برای گرمادهی موثر تر بکار گرفته شده است. (۳)

لامپ مورد استفاده در این خشک کن دارای حباب یا تیوبی از جنس کوارتز با رشته هایی از تنگستن می باشد (شکل۳). طول عمر این لامپ بین ۱۵۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ ساعت می باشد و دما در سطح آن تا ٦۰۰ درجه سانتیگراد نیز می رسد. توان ورودی لامپ ۱۷ کیلو وات است.



شکل۳- نمای شماتیک لامپ مادون قرمز با تیوب کوارتز

با توجه به شکل۳ طول کلی لامپ با درپوش های انتهایی ۷۰ سانتی متر و طول تیوب کوارتز ٦۰ سانتی متر می باشد. سیم های بکار رفته در مدار الکتریکی دارای روکش نسوز می باشند که تحمل دماهای بسیار بالا را دارد. جنس درپوش انتهایی از سرامیک است تا گرمای کمتری از انتهای لامپ به سیم ها منتقل شود.

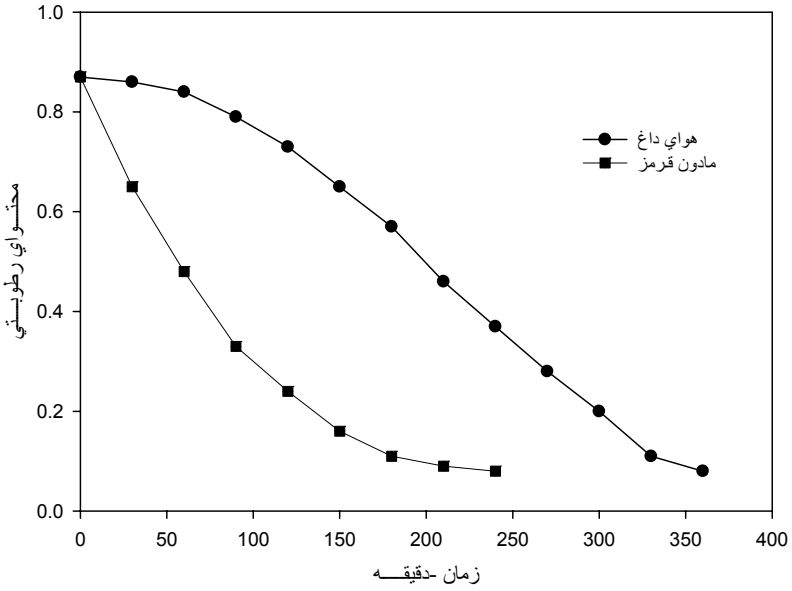
ارزیابی کارکرد دستگاه:

ارزیابی کارکرد خشک کن با خشک کردن سیب زمینی انجام شد. مکعب های سیب زمینی به ابعاد ۱۷×۱۷ ×۵ میلیمتر پس از خیسانده شدن در آب به مدت یک روز در دمای ٤ درجه سانتیگراد، آماده شدند.

خشک کن به مدت ۲۰ دقیقه قبل از آغاز آزمایش راه اندازی شد تا به شرایط پایدار برسد. درجه حرارت خشک کن روی ۸۰ درجه سانتیگراد تنظیم شد و نمونه های سیب زمینی در فاصله ۷۰ سانتیمتری لامپ مادون قرمز قرار داده شدند.

-زمان خشک کردن و نمودار رطوبت

نمونه ها به فواصل زمانی ۳۰ دقیقه توزین شدند. زمان لازم جهت خشک کردن محصول ۲٤٥ دقیقه بود و نمودار کاهش رطوبت نسبت به زمان رسم شد.(شکل ٤)



شکل٤- نمودار مقایسه کاهش محتوای رطوبتی در زمان روش هوای داغ و مادون قرمز

همچنین مقایسه عملکرد خشک کن مادون قرمز در خشک کردن سیب زمینی با خشک کن متداول هوای داغ که در تحقیقات مختلف به کار گرفته شده(٤) نشان دهنده عملکرد بسیار بالاتر این خشک کن می باشد. شکل٤ نمودار زمان در مقابل محتوای رطوبتی محصول طی عملیات خشک کردن به روش مادون قرمز را با خشک کن هوای داغ تحت شرایط مساوی مقایسه می کند. این نمودار نشان دهنده نرخ خشک کردن بالاتر روش مادون قرمز نسبت به هوای داغ می باشد. نمودار روش هوای داغ دارای یک نرخ ثابت کوتاه قبل از آغاز افت نرخ خشک کردن می باشد در صورتی که نمودار روش مادون قرمز از ابتدا فقط افت نرخ دارد که همین موجب سخت تر شدن سطح محصول و تیره شدن آن در روش هوای داغ در مقایسه با روش مادون قرمز می شود.(۲)

- محاسبه مصرف انرژی:

انرژی مصرف شده طی عملیات خشک کردن محصول، بر حسب کیلووات ساعت بر کیلوگرم بر اساس انرژی الکتریکی مصرف شده توسط منبع مادون قرمز و دیگر تجهیزات بکار رفته در محفظه خشک کن، اندازه گیری می شود(۱۱). راندمان یک عملیات خشک کردن بر اساس انرژی مصرفی ویژه ارزیابی می شود، که مقدار انرژی مورد

نیاز در طی عملیات برای خارج کردن یک کیلوگرم آب از محصول مورد نظر می باشد(۸). انرژی مصرفی ویژه بدین صورت محاسبه می شود:

$$SEC = \frac{E_{vacuum} + E_{thermal}}{m_{water}} \qquad (1)$$

که SEC انرژی مصرفی ویژه بر حسب کیلووات ساعت بر کیلوگرم، $E_{thermal}$ انرژی الکتریکی مصرفی منبع مادون قرمز بر حسب کیلووات ساعت و در صورتی که برای ایجاد شرایط خلأ در محفظه از پمپ خلأ استفاده کنیم، E_{vacuum} انرژی الکتریکی مصرف شده توسط پمپ خلأ بر حسب کیلووات ساعت خواهد بود. m_{water} میزان آب خارج شده از محصول بر حسب کیلوگرم می باشد که با اندازه گیری اختلاف وزن محصول قبل و بعد از خشک کردن بدست می آید. انرژی مصرفی لامپ مادون قرمز براساس توان ورودی و مدت زمان تشعشع مادون قرمز محاسبه می شود. جدول ۲ میزان انرژی مصرفی ویژه برای خشک کردن سیب زمینی به روش مادون قرمز و نیز هوای داغ را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود خشک کن مادون قرمز ۵۵ درصد کاهش مصرف انرژی نسبت به خشک کن هوای داغ در شرایط مشابه برای محصول سیب زمینی دارد.

جدول۲- انرژی مصرفی و زمان عملیات خشک کردن سیب زمینی به دو روش هوای داغ و مادون قرمز

روش خشک کردن	انرژی مصرفی تبخیر آب MJ/kg	زمان(دقیقه)
هوای داغ	۱۷/۱۷	۳۶۰
مادون قرمز	۷/٤	۲٤٥

نتیجه گیری:

خشک کن مادون قرمز برای محصولات کشاورزی بخصوص سبزیجات طراحی و ساخته شد. خشک کن مورد ارزیابی قرار گرفت و محصول سیب زمینی به منظور مقایسه با روش هوای داغ خشک شد.

نمودار محتوای رطوبتی بدست آمده نشان دهنده تاثیر بالای اشعه مادون قرمز در کاهش محتوای رطوبتی محصول در زمان بسیار پایین بود. ضمن اینکه کاهش مصرف انرژی به میزان ۵۵ درصد نسبت به خشک کن هوای داغ در مورد سیب زمینی بدست آمد. خشک کن ساخته شده دارای هزینه اولیه کمی بوده و راه اندازی آن آسان است. راندمان بالای این خشک کن نسبت به روش های متداول و نیز امکان تلفیق آن با روشهای دیگر به منظور کاهش

زمان عملیات و افزایش کیفیت محصول نهایی موجب رشد روزافزون کاربرد اشعه مادون قرمز در این صنعت می شود.

منابع:

[1] Abe, T. and Afzal, T.M. (1997) Thin-layer infrared radiation drying of rough rice, Journal of Agricultural Engineering Research, 67, pp. 289-297

[2] Abe, T. and Afzal, T.M. (1998) Diffusion in potato during far infrared radiation drying, Journal of Food Engineering, 37, pp. 353-365.

[3] Ginzburg, A.S. (1969) Application of infrared radiation in food processing, Chemical and Process Engineering Series, Leonard Hill, London.

[4] H. Umesh Hebbar, K.H. Vishwanathan, M.N. Ramesh, Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables, Journal of Food Engineering 65 (2004) 557–563

[5] Mongpraneet, S., Abe, T. and Tsurusaki, T. (2002) Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions, Journal of Food Engineering, 55, pp. 147-156.

[6] Ozdemir, M., & Devres, O. (2000). Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. Journal of Food Engineering, 45, 17–24.

[7] Ranganna, S. (1986). Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.

[8] Ratti, C. and Mujumdar, A.S. (1995) Infrared Drying, in: A.S. Mujumdar, (eds.), Handbook of industrial drying: Volume 1, Marcel Dekker, New York.

[9] Sakai, N., & Hanzawa, T. (1994). Application and advances in far infrared heating in Japan. Trends in Food Science and Technology, 5(11), 357–362.

[10] Sandu, C. (1986) Infrared radiative drying in food engineering: A Process Analysis, Biotechnology Progress, 2, pp. 109-119.

[11] S. Vyazovkin, Two types of uncertainty in the values of activation energy,J. Thermal Anal. Calorimetry 64 (2001) 829–835.