

بررسی عملکرد خشک کن خورشیدی فعال مجهز به گرم کن الکتریکی و سامانه بازیافت انرژی

محسن پورقاسمی رنجبر^۱، سعید ناصر علوی نائینی^۲، حمید مرتضی پور^۳

تاریخ دریافت مقاله:

۹۴/۹/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله:

۹۴/۱۲/۲۷

چکیده:

در فرایند خشک کردن محصولات کشاورزی همواره انرژی زیادی مصرف می‌شود. برای صرفه جویی در مصرف انرژی‌های فسیلی، استفاده مستقل و یا ترکیبی از انرژی خورشیدی، از روش‌های معمول در خشک کردن محصولات کشاورزی می‌باشد. در تحقیق حاضر، عملکرد گرمائی یک خشک کن خورشیدی فعال مجهز به سامانه بازیافت انرژی در سه سطح دمای هوای خشک‌کننده بررسی شده است. نتایج تحقیق نشان داد که در دماهای هوای خشک‌کننده ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد، سامانه بازیافت انرژی قادر است به ترتیب ۱۶/۸، ۱۸/۵ و ۱۸/۹ درجه سانتی‌گراد دمای هوای ورودی به خشک کن را افزایش دهد. در این شرایط ۴۷/۸، ۴۲/۹ و ۴۰/۵ درصد از انرژی هوای خروجی از خشک کن بازیافت می‌گردد که انرژی مورد نیاز گرم کن الکتریکی را ۳۰/۷، ۱۹/۲ و ۱۴/۷ درصد کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی:

خشک کن خورشیدی، سامانه بازیافت انرژی، گرم کن الکتریکی

Mohsen.pourghasemi@gmail.com

nalavi@.uk.ac.ir

h.mortezapour@.uk.ac.ir

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان

(۲) دانشیار بخش مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان

(۳) استادیار بخش مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان (نویسنده مسئول)

مقدمه

امروزه با وجود روش‌های پیشرفته فراوان، برای نگهداری اکثر میوه‌ها و سبزی‌ها از خشک کردن استفاده می‌شود. خشک‌کن‌هایی که برای خشک کردن محصولات کشاورزی استفاده می‌گردند، به‌طور معمول خشک‌کن‌های هوای گرم هستند که انرژی مورد نیاز آنها از منابع سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. نظر به اهمیت استفاده از مواد فسیلی در تولید فراورده‌های نفتی و پتروشیمی با ارزش افزوده بالا و آلوده کردن محیط زیست در اثر سوزاندن آنها، استفاده از این مواد برای تأمین انرژی عاقلانه به‌نظر نمی‌رسد. از طرفی، منابع سوخت‌های فسیلی به علت محدود بودن نمی‌توانند به‌عنوان منابعی مطمئن برای آینده بشر به حساب آیند. در کشور ایران با توجه به بالا بودن تعداد روزهای آفتابی در سال، برخورداری از شدت تابش به‌نسبت بالای خورشید و نیز رطوبت نسبی کم بسیاری از نقاط، به‌نظر می‌رسد انرژی خورشیدی جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی در فرایند خشک کردن محصولات کشاورزی باشد. کشور ایران روی کمربند خورشیدی جهان قرار گرفته و یکی از کشورهایی است که از تابش نور خورشید با قدرت و توان مطلوب برخوردار بوده و از مناطق بسیار مستعد برای بهره‌گیری از این انرژی است به طوری که مقدار تابش متوسط روزانه آفتاب به ۴ کیلووات ساعت بر متر مربع می‌رسد و متوسط تعداد ساعات آفتابی، از ۲۸۰۰ ساعت در سال بیشتر است [۵ و ۷].

به طور عمومی، خشک‌کن‌های خورشیدی براساس نحوه جریان هوا به دو دسته فعال (جریان اجباری) و غیر فعال (جریان طبیعی) تقسیم می‌شوند. در خشک‌کن‌های فعال جریان هوا با استفاده از مکنده یا دمنده برقرار می‌گردد و اغلب این خشک‌کن‌ها علاوه بر انرژی خورشیدی از انرژی کمکی دیگری مانند انرژی الکتریکی بهره می‌گیرند، ولی در خشک‌کن‌های غیر فعال، جریان هوا در اثر اختلاف چگالی هوای سرد و گرم در داخل خشک‌کن ایجاد می‌شود [۸].

طراحی یک خشک‌کن خورشیدی با توجه به نوع محصول، ظرفیت خشک‌کن و شرایط آب و هوایی منطقه مانند مقدار تابش در واحد سطح، دما و رطوبت نسبی هوا، ساعات آفتابی روز، نوع مواد مصرفی در ساختمان جمع‌کننده انرژی خورشیدی و محفظه خشک‌کن صورت می‌گیرد [۴]. سهیلی مهدیزاده و همکاران با طراحی و ساخت خشک‌کن خورشیدی با همرفت اجباری، به خشک کردن سبزی‌های برگی شکل پرداختند و عملکرد جمع‌کننده خورشیدی خشک‌کن را ارزیابی نمودند. نتایج نشان دادند که در جمع‌کننده ساخته شده، حدود ۸۲ درصد از کل تلفات حرارت از طریق پوشش، ۱۴ درصد از پشت جمع‌کننده خورشیدی و ۴ درصد از طریق سطوح جانبی جمع‌کننده خورشیدی است [۳].

مطالعات زیادی به منظور بهبود عملکرد جمع‌کننده خورشیدی صورت گرفته است. در این خصوص می‌توان به سوراخ‌دار کردن صفحه جاذب جمع‌کننده، زاویه متصل شدن پره به صفحه جاذب، جمع‌کننده از نوع لوله‌ای [۱۰] و جمع‌کننده از نوع صفحه‌ای سوراخ‌دار پره‌دار اشاره کرد [۶]. در پژوهشی دیگر از دو جمع‌کننده خورشیدی، یک دمنده و یک محفظه به منظور بالا بردن بازده خشک‌کن استفاده شد [۹]. به منظور افزایش بازده انرژی در خشک‌کن‌های

خورشیدی، سامانه گردش هوای بسته پیشنهاد شده است [۱۱]. در خشک‌کن‌های مجهز به سامانه گردش هوای بسته، هوای گرم پس از عبور از روی محصول و جذب رطوبت آن، به محیط بیرون منتقل نمی‌شود بلکه از داخل جمع‌کننده خورشیدی عبور کرده و پس از گرم شدن، دوباره به صورت یک چرخه بسته، برای خشک‌کردن وارد محفظه خشک‌کن می‌گردد. با توجه به اینکه رطوبت نسبی هوای عبوری در این نوع خشک‌کن، پس از مدتی به علت جذب رطوبت محصول، بالا می‌رود و قدرت جذب رطوبت آن کاهش می‌یابد، از مواد جاذب رطوبت در این نوع خشک‌کن استفاده شده است [۱].

از معایب خشک‌کن‌های دارای چرخه گردش هوای بسته این است که ظرفیت جذب رطوبت مواد جاذب رطوبت بکار رفته در این نوع خشک‌کن‌ها، محدود می‌باشد. لذا این مواد پس از مدتی به حالت اشباع می‌رسند و توانایی آنها در جذب رطوبت هوای خشک‌کننده کاهش می‌یابد. در این شرایط، به طور معمول برای احیای دوباره آنها از آون استفاده می‌شود که مستلزم صرف زمان و هزینه می‌باشد.

در این پژوهش، به منظور برطرف کردن محدودیت‌های مواد جاذب رطوبت، یک سامانه جدید برای بازیافت انرژی استفاده شده است. در سامانه پیشنهادی، خشک‌کن از حالت گردش هوای بسته خارج گردید و یک مبدل حرارتی هوا به هوا برای تبادل حرارتی بین هوای گرم خروجی از محفظه محصول و هوای سرد ورودی به جمع‌کننده به کار گرفته شد. به منظور ارزیابی خشک‌کن ساخته شده و مقایسه عملکرد آن با خشک‌کن بدون سامانه بازیافت انرژی، محصول پسته در آن خشک گردید.

مواد و روش‌ها

تصویر خشک‌کن خورشیدی بدون سامانه بازیافت حرارتی در شکل (۱-الف) نشان داده شده است. اجزای اصلی این خشک‌کن شامل محفظه محصول، دمنده، جمع‌کننده، گرمکن الکتریکی و سامانه کنترل دمای خشک‌کن می‌باشد. جمع‌کننده از یک صفحه جاذب آلومینیومی به مساحت ۱/۱ مترمربع ساخته شد. دیواره‌های جمع‌کننده از جنس چوب بود که با پوشش پشم شیشه به ضخامت ۲ سانتیمتر عایق گردید و روی یک شاسی فلزی قابل حمل تحت زاویه ۳۰ درجه (برابر عرض جغرافیایی شهر کرمان) نصب شد. برای به جریان درآوردن هوای خشک‌کننده در قسمت‌های مختلف خشک‌کن از یک دمنده استفاده گردید. این دمنده دارای ولتاژ تغذیه ۱۲ ولت DC بود که توسط باتری تامین شد و برای تغییر سرعت دمنده و دبی هوا از مقاومت متغیر در مدار دمنده استفاده گردید.

خشک‌کن خورشیدی پس از نصب سامانه بازیافت انرژی در شکل (۱-ب) نشان داده شده است. مبدل حرارتی بکار رفته در این خشک‌کن، از نوع آلومینیومی پرده‌دار با ابعاد ۸۳ در ۴۰ سانتی متر مربع بود که در داخل یک محفظه چوبی با ضخامت ۲ سانتی متر که دیواره‌های آن با پشم شیشه عایق شده بودند، قرار گرفت. در نهایت، محفظه مبدل حرارتی در جلو ورودی هوا به جمع‌کننده نصب شد. برای انتقال هوای خروجی از محفظه خشک‌کن به مبدل، از لوله‌های انتقال هوا به

قطر ۱۰ سانتیمتر استفاده گردید. به منظور کاهش اتلاف انرژی، لوله‌های انتقال هوای گرم با پشم شیشه به ضخامت ۲ سانتیمتر عایق بندی شدند.



شکل ۱) خشک‌کن خورشیدی مورد استفاده در پژوهش الف) بدون سامانه بازیافت حرارت و ب) مجهز به سامانه بازیافت حرارت

با نصب سامانه بازیافت انرژی، هوا پس از عبور از جمع‌کننده خورشیدی گرم و با عبور از سینی محصول در محفظه خشک‌کن باعث تبخیر رطوبت محصول می‌گردد که افزایش رطوبت هوای خروجی را دربر دارد. هوای گرم و مرطوب خروجی به وسیله کانال‌های عایق بندی شده از مجراهای داخل مبدل حرارتی عبور و موجب گرم شدن هوای سرد و خشک ورودی به خشک‌کن که از فضای اطراف مبدل حرارتی عبور می‌کند، می‌گردد. به عبارت دیگر، با این ترکیب، هوای گرم و مرطوب خروجی از محفظه محصول، "شاره گرم" و هوای سرد و خشک ورودی به خشک‌کن، "شاره سرد" مبدل حرارتی هوا به هوای بکار رفته در سامانه بازیافت حرارتی می‌باشند.

تعداد ۶ حسگر (مدل LM35 با محدوده کاری ۳۰ - تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد) برای اندازه‌گیری دما در قسمت‌های مختلف خشک‌کن شامل ورودی و خروجی هوای خشک‌کننده از محفظه محصول، ورودی و خروجی شاره گرم و ورودی و خروجی شاره سرد از سامانه بازیافت نصب گردید. دمای خوانده شده توسط این حسگرها در فاصله‌های زمانی ۱۵ دقیقه ثبت و ذخیره می‌شد. از دو عدد لودسل (مدل L6D، شرکت ZEMIC) برای اندازه‌گیری تغییرات وزن محصول در طول زمان خشک شدن استفاده گردید. این حسگرها در داخل محفظه و زیر سینی محصول نصب شدند. به منظور اندازه‌گیری دبی هوای عبوری از خشک‌کن، از یک سرعت سنج هوایی پره‌ای مدل (مدل BE816A، شرکت BESTONE) استفاده گردید. برای اندازه‌گیری شدت تابش خورشیدی بر روی سطح جمع‌کننده، یک دستگاه سولاری متر (مدل TES 1333 R، شرکت TES، ساخت تایوان) در کنار آن به گونه‌ای نصب شد که حسگر سولاری متر موازی با سطح جمع‌کننده باشد. از یک سامانه کنترل مجهز به یک کنترل‌کننده (Advanced Virtual RISC) AVR برای ثابت نگه داشتن دمای هوای داخل

خشک کن استفاده شد. این سامانه دارای یک کنترل گر دو وضعیتی بود که گرم کن برقی را کنترل می کرد. توان مصرفی دمنده و گرمکن الکتریکی به وسیله ترانس میتر وات متر (مدل TM1510 ساخت شرکت TIKA) در فاصله های زمانی نیم ثانیه ای اندازه گیری و ثبت شد.

به منظور انجام آزمایش ها، در این پژوهش پسته رقم کله قوچی از شهرستان سیرجان واقع در استان کرمان تهیه شد. قبل از انجام هر آزمایش، پوست گیری، شستشو و آب گیری پسته انجام می گردید. رطوبت اولیه محصول از روش آون، در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد و مدت زمان ۲۴ ساعت به دست آمد. هدف از انجام پژوهش، بررسی تاثیر دما بر سرعت خشک شدن و ارزیابی عملکرد سامانه بازیافت انرژی در کاهش برق مصرفی گرمکن الکتریکی بود. به این منظور، آزمایش ها در سه سطح دما ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی گراد و با سه تکرار در مهر ماه سال ۱۳۹۳ انجام شدند. عمل خشک شدن تا رسیدن به رطوبت مطلوب محصول پسته که حدود ۵ تا ۷ درصد براساس وزن تر می باشد، ادامه یافت.

پارامترهای مورد ارزیابی در تحقیق شامل محتوای رطوبتی محصول و بازده سامانه بازیافت حرارتی بودند که در ادامه نحوه محاسبه آنها آورده شده است.

محتوای رطوبتی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$MC = \frac{M_w - M_d}{M_w} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، MC ، محتوای رطوبت محصول بر پایه وزن تر (%)، M_w وزن تر محصول (g) و M_d وزن خشک محصول (g) می باشند.

بازده سامانه بازیافت انرژی از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_t} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، η_t بازده سامانه بازیافت حرارتی (%)، \dot{Q}_c نرخ گرمای داده شده به شاره سرد (W)، \dot{Q}_t توان حرارتی قابل بازیافت هوای گرم خروجی از محفظه خشک کن (W) است که با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه شدند.

$$\dot{Q}_c = \dot{m} C_d (T_c - T_d) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_t = \dot{m} C_w (T_a - T_d) \quad (4)$$

در روابط بالا، \dot{m} دبی جرمی هوا (kg/s)، T_a دمای هوای گرم خروجی از محفظه محصول ($^{\circ}\text{C}$)، T_c دمای خروجی شاره سرد ($^{\circ}\text{C}$) و T_d دمای ورودی شاره سرد ($^{\circ}\text{C}$) به سامانه بازیافت، C_d گرمای ویژه هوای ورودی به خشک کن (J/kg.K) و C_w گرمای ویژه هوای خروجی از خشک کن (J/kg.K) می‌باشند.

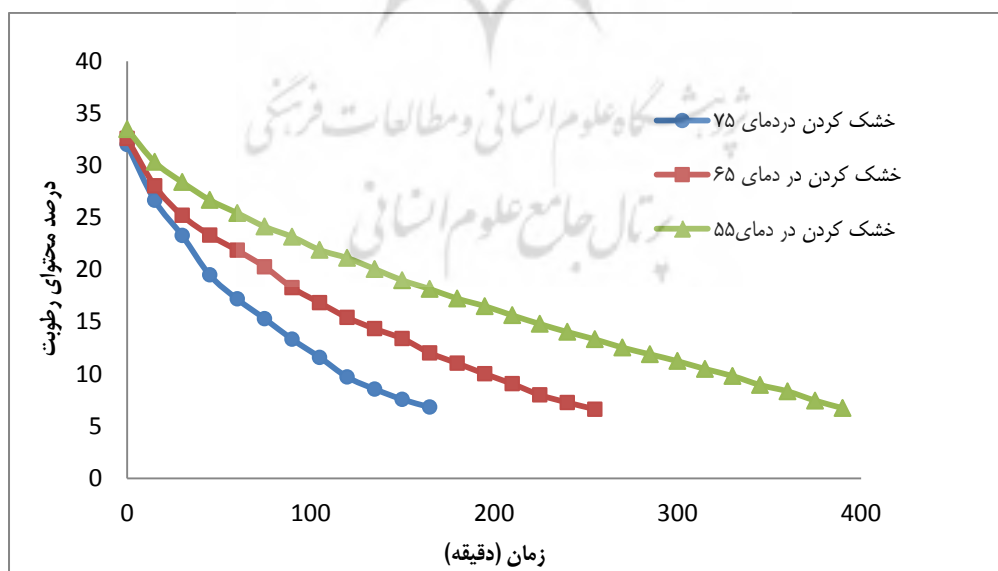
نرخ گرمایی تلف شده، به وسیله لوله‌های انتقال هوای گرم از رابطه (۵) محاسبه شدند.

$$\dot{Q}_l = \dot{m} C_w (T_a - T_c) \quad (5)$$

که در آن، \dot{Q}_l نرخ گرمای تلف شده در لوله (W) می‌باشد.

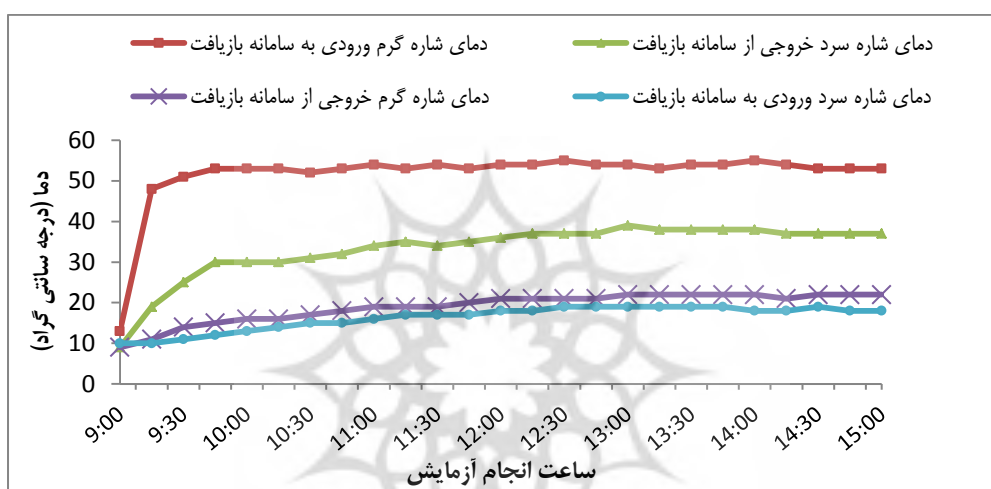
نتایج و بحث

تغییرات محتوای رطوبت با زمان در دماهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد در شکل (۲) آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دمای خشک کردن در یک دبی ثابت، زمان خشک کردن به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد به طوری که با افزایش دما از ۵۵ به ۷۵ درجه سانتی‌گراد زمان خشک شدن ۵۷ درصد کاهش داشت. این نتیجه با یافته‌های تحقیقات پیشین در مورد محصولات دیگر مطابقت دارد [۲و۶].

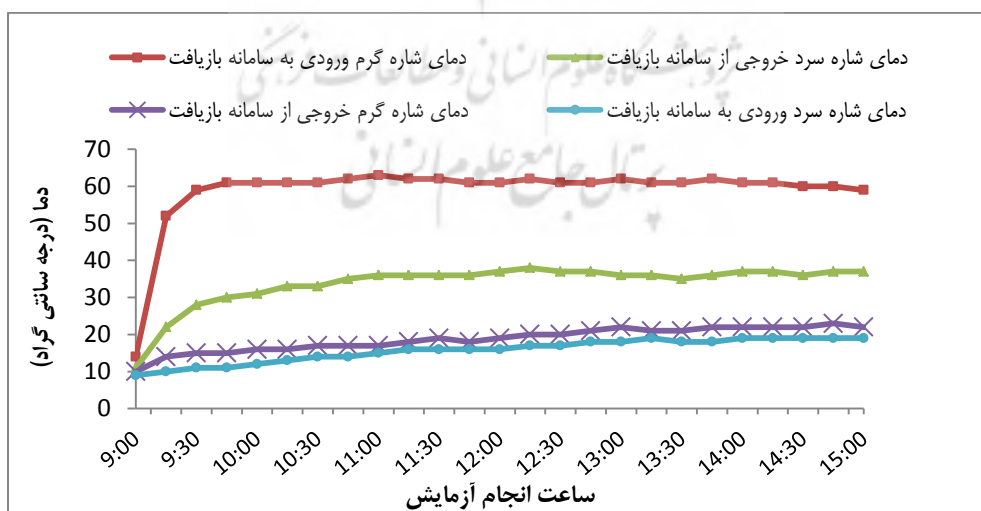


شکل ۲) اثر درجه حرارت بر کاهش محتوای رطوبت پسته در طول زمان آزمایش

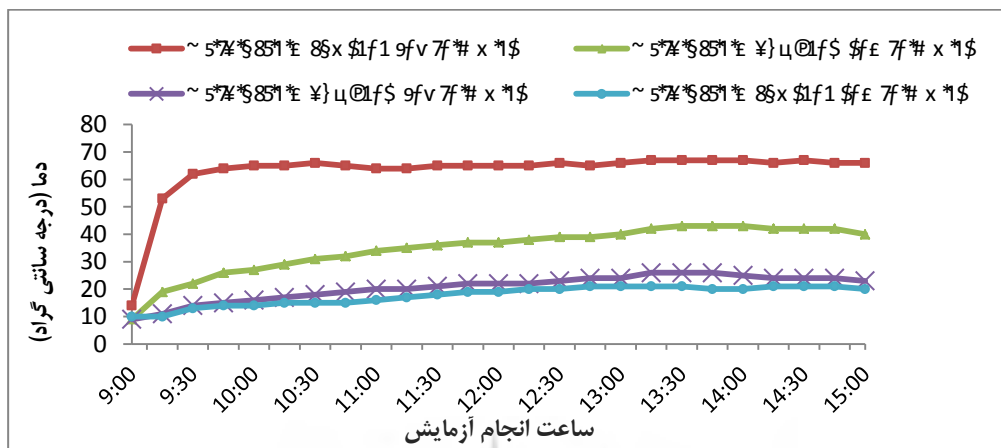
تغییرات دمای هوای ورودی به جمع کننده و خروجی از خشک کن در دماهای خشک کردن ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی گراد در طول روز به ترتیب در شکل های (۳، ۴ و ۵) آورده شده اند. نتایج حاصل از آن نشان داد که با افزایش دمای هوای خشک کننده، به دلیل بالا رفتن دمای هوای شاره گرم در مبدل حرارتی، تغییرات دمای شاره سرد تا حدودی افزایش می یابد به طوری که در دماهای خشک کنی ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی گراد، به ترتیب به طور متوسط ۱۶/۸، ۱۸/۵ و ۱۸/۹ درجه سانتی گراد دمای هوای ورودی به خشک کن افزایش یافت.



شکل ۳) منحنی تغییرات دمای خشک کن خورشیدی در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد، مجهز به گرمکن الکتریکی و سامانه بازیافت انرژی



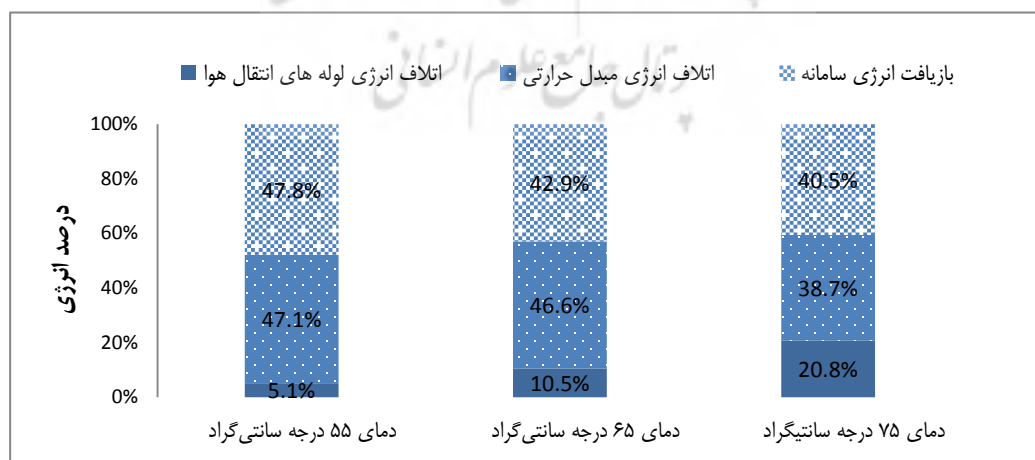
شکل ۴) منحنی تغییرات دمای خشک کن خورشیدی در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد، مجهز به گرمکن الکتریکی و سامانه بازیافت انرژی



شکل ۵) منحنی تغییرات دمای خشک کن خورشیدی در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد، مجهز به گرمکن الکتریکی و سامانه بازیافت انرژی

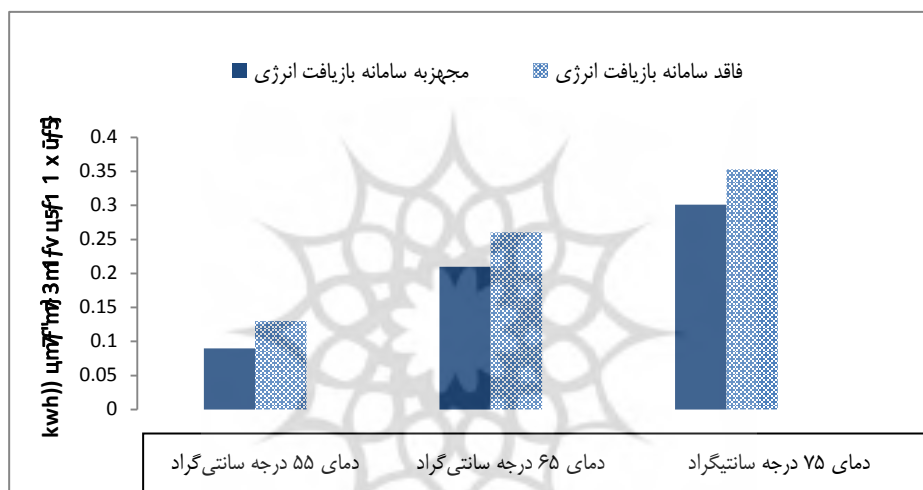
از مجموع انرژی هوای گرم و مرطوب خروجی از محفظه محصول، بخشی در لوله انتقال و بخشی دیگر در مبدل حرارتی تلف می‌گردد. در شکل (۹)، سهم تلفات و بازیافت انرژی در سامانه بازیافت حرارتی آورده شده است. با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود که با افزایش دمای هوای گرم ورودی به سامانه، درصد اتلاف انرژی لوله‌های انتقال، به دلیل زیاد شدن اختلاف دمای هوای گرم داخل آنها با محیط زیاد می‌شود. به طور مشابه، کل انرژی تلف شده در سامانه نیز با افزایش دمای هوای شاره گرم زیاد شد که بیانگر آن است که در مبدل حرارتی فرصت کافی برای تبادل کامل حرارت بین شاره گرم و سرد وجود نداشته و بخشی از انرژی، با خروج شاره گرم از خشک‌کن، به همراه آن به محیط اطراف وارد شده است.

با توجه به شکل (۶)، مشخص است که بالاترین بازده سامانه بازیافت در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید و با افزایش دمای هوای خشک‌کننده تا ۷۵ درجه سانتی‌گراد، بازده سامانه بازیافت حرارتی ۷/۳ درصد افت داشت.



شکل ۶) عملکرد سامانه بازیافت انرژی در دماهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد

انرژی مصرفی گرمکن الکتریکی خشک‌کن خورشیدی، در دو حالت فاقد سامانه بازیافت انرژی و مجهز به سامانه بازیافت انرژی در شکل (۷) آورده شده است. با توجه به شکل، سامانه بازیافت انرژی، انرژی مصرفی گرمکن الکتریکی را به طور متوسط ۲۱/۵۳ درصد کاهش داد. همچنین مشخص است که نسبت کاهش انرژی گرم‌کن در دماهای بالاتر، کمتر بوده به طوری که کاهش انرژی الکتریکی مورد نیاز برای خشک‌کردن پسته در دمای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۳۰/۷، ۱۹/۲ و ۱۴/۷ درصد می‌باشد. دلیل این امر، کاهش بازیافت انرژی در دماهای بالاتر است.



شکل ۷) انرژی مصرفی گرمکن الکتریکی در دماهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد

نتیجه‌گیری

به طور خلاصه، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش دمای خشک کردن در یک دبی ثابت، زمان خشک کردن به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد به طوری که با افزایش دما از ۵۵ به ۷۵ درجه سانتی‌گراد زمان خشک شدن ۵۷ درصد کاهش داشت.

سامانه بازیافت انرژی، دمای هوای خروجی از خشک‌کن را کاهش و دمای هوای ورودی به خشک‌کن را افزایش می‌دهد. این امر سبب افزایش انرژی هوای ورودی به خشک‌کن می‌شود که کاهش مصرف انرژی گرم‌کن کمکی را به دنبال دارد.

بررسی عملکرد سامانه بازیافت نشان داد که مقدار بازیافت انرژی سامانه با افزایش دمای هوای خشک‌کننده از ۵۵ به ۷۵ درجه سانتی‌گراد ۷/۳ درصد کاهش یافت.

مقایسه خشک‌کن خورشیدی معمولی با نوع مجهز به سامانه بازیافت انرژی نشان داد که سامانه بازیافت موجب کاهش مصرف انرژی الکتریکی گرمکن در دماهای مختلف گردید به طوری که کاهش انرژی الکتریکی مورد نیاز برای خشک کردن پسته در دمای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی گراد به ترتیب ۳۰/۷، ۱۹/۲ و ۱۴/۷ درصد بود.

منابع

- [۱] آق خانی، محمدحسین. عباسپور فرد، محمدحسین. بیاتی، محمدرضا. مرتضی پور، حمید. ساعدی، سپدایمان. مقیمی، علی. (۱۳۹۱)، بررسی عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه گردش هوای بسته و محفظه جاذب رطوبت، نشریه ماشین های کشاورزی، جلد ۳ شماره ۲ صفحه‌های ۹۲-۱۰۳.
- [۲] پورقاسمی رنجیر، محسن. علوی، سید ناصر. مرتضی پور، حمید. (۱۳۹۳)، بررسی سینتیک خشک شدن گوجه فرنگی با استفاده از روش سنتی و خشک کن خورشیدی، چهارمین کنفرانس سالانه انرژی پاک ۴ و ۵ تیر ۱۳۹۳ کرمان.
- [۳] سهیلی مهدیزاده، احمد. کیهانی، علیرضا. عباسپور ثانی، کمال، اکرم، اسدالله. (۱۳۸۵)، طراحی خشک‌کن خورشیدی با همرفت اجباری برای سبزی‌های برگی و ارزیابی عملکرد جمع‌کننده انرژی خورشیدی، تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۷، ۱۴۷-۱۶۳.
- [۴] موسوی، فرهاد. صناعی، اکبر. ابراهیمی، ابراهیم. (۱۳۸۹)، طراحی و ساخت خشک‌کن خورشیدی همرفت اجباری هوشمند برای توت، ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه تهران (کرج)
- [۵] رشیدی، معصومه. غریب، هادی. (۱۳۹۰)، استفاده از انرژی خورشیدی راهکاری برای توسعه پایدار انرژی‌های نو، اولین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین نگهداشت انرژی، تهران، آذرماه، ۱۳۹۰.
- [۶] رزمی پور، مسعود. علوی نائینی، ناصر. مرتضی پور، حمید. غضنفری مقدم، احمد. (۱۳۹۴)، ارزیابی عملکرد خشک کن خورشیدی با جمع‌کننده ی دارای صفحه جاذب پره دار سوراخ دار مجهز به سامانه کنترل هوای خشک‌کننده برای خشک کردن شوید، نشریه ماشین های کشاورزی، جلد ۵ شماره ۱ صفحه‌های ۱۴۲-۱۳۴.
- [7] Dincer, I., (2000). "Renewable energy and sustainable development: a crucial review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 157-175.
- [8] Ekechukwu, O.V., and Norton, B., (1999). "Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology". *Energy Conversion and Management*, pp. 615-655.
- [9] El-Sebaai, A. A., and Shalaby, S. M., (2013). "Experimental investigation of an indirect-mode forced convection solar dryer for drying thymus and mint". *Energy Conversion and Management*, 109-116.
- [10] Lamnatou, C., Papanicolaou, E., Belessiotis, V., and Kyriakis, N., (2012). "Experimental investigation and thermodynamic performance analysis of a solar dryer using an evacuated-tube air collector". *Applied Energy*, 94, 232-243.
- [11] Punlek, C., Pairintra, R., Chindaraksa, S., and Maneewan, S., (2009). "Simulation design and evaluation of hybrid PV/T assisted desiccant integrated HA-IR drying system (HPIRD)". *Food and Bioproducts Processing*, 87, 77-86.