مدلسازی عددی جریان در خشک کن خورشیدی برای کاربرد بهینه تیغه های جهت دهنده هوا

امیدرضا روستاپور[۱*] ، علیرضا تهور[۲] و کمال الدین مظفری[۳]

۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، roustapour@farsagres.ir
۲- استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

چکیده

انرژی مجانی خورشید برای خشک کردن محصولات کشاورزی در سطح وسیعی به کار گرفته شده است. یکی از محدودیت های استفاده از خشک کن های خورشیدی، بازده پایین آنها می باشد. از راه کارهای افزایش بازده و کاهش زمان خشک شدن، افزایش زمان ماندگاری هوای گرم در مخزن، با ایجاد آشفتگی در جریان هوا می باشد. در این راستا، ابتدا جریان هوا در مخزن یک خشک کن خورشیدی ترکیبی با استفاده از تکنیک مدلسازی دینامیک سیال شبیه سازی شد. برای استفاده بهینه از انرژی هوای گرم در خشک کن، با تغییر در الگوی جریان می توان زمان ماندگاری هوا در خشک کن را افزایش و از انرژی حرارتی هوا در خشک کن، حداکثر استفاده برای آبزدایی نمود. جریان هوای داخل مخزن خشک کن با استفاده از نرم افزار فلوئنت با توجه به شرایط مرزی ورودی و خروجی هوا شبیه سازی شده و با مطالعه وضعیت جریان نسبت به انتخاب تیغه های جهت دهنده جریان هوا و نصب آن در مکان های مناسب در مخزن اقدام شد. سپس آزمایش های لازم برای راست آزمایی مدل، با ساخت و نصب تیغه های جهت دهنده در مخزن خشک کن انجام شد. در این راستا حلقه های نازک گوجه فرنگی با ضخامت ۶ میلیمتر در خشک کن خورشیدی در متوسط دمای ۶۰ درجه سلسیوس و دبی هوای ۰/۰۱۸ مترمکعب بر ثانیه خشک شد. نتایج نشان داد که با نصب تیغه ها در مخزن خشک کن، متوسط سرعت جریان هوا در مخزن کاهش یافته و در نتیجه زمان خشک شدن نیز کاهش یافته است.

واژه های کلیدی: تیغه های جهت دهنده، خشک کن خورشیدی، گوجه فرنگی، مدل‌سازی دینامیک سیال

مقدمه

نگهداری محصولات کشاورزی در عصر حاضر بسیار مهم است چرا که نقش بسیار مهمی در تغذیه بشر دارد. از راهکارهای افزایش عمر مفید آنها، خشک کردن می باشد. بسته به نوع و ماهیت محصول، روش های مختلفی برای این فرایند معرفی شده اند. خشک کن های کابینتی برای تولید انواع خشکبار به کار گرفته می شود. زمان خشک شدن در این خشک کن ها طولانی بوده و بازده آن بسیار پایین است. خشک‌کن‌های خورشیدی کابینتی نیز از دیگر انواع خشک کن ها بوده که از انرژی ارزان خورشید

برای خشک نمودن محصول استفاده می‌کند. منتهی بازده این خشک کن ها نیز بسیار پایین است. برای بررسی راه کارهای افزایش بازده، دانستن الگوی جریان هوا در مخزن خشک‌کن ضروری است. یکی از روش های دستیابی به این الگوی، مدلسازی عددی جریان در مخزن خشک کن می باشد.

مایا جریان هوای درون خشک کن خورشیدی الکتریکی هیبریدی را با استفاده از روش دینامیک سیال محاسباتی[1] شبیه سازی کرد. در این راستا در دماها و سرعت ها تعیین شده، رفتار جریان هوا بررسی شد. الگوی جریان هوا درون خشک کن جهت طراحی بهتر هندسه مناسب خشک کن در راستای بهبود فرایند خشک کردن، استفاده گردید (Maia, 2012). انتقال جرم و حرارت در یک خشک کن خورشیدی با استفاده از روش CFD، توسط ریجیت و لو شبیه سازی شد. بر اساس نتایج بدست آمده، در مدل جابجایی آزاد توزیع دمایی در محفظه خشک کن یکنواخت تر و جهت خشک کردن فلفل مناسب تر می باشد Rigit and Low, (2010). امانلو و زمردیان تحقیقی را بر روی کاربرد CFD جهت طراحی یک خشک کن کابینتی خورشیدی میوه انجام داده اند. آنها یک خشک کابینتی با محفظه .آببندی شده در پهلو را ساخته و مورد بررسی قرارداده اند. جهت بدست آوردن توزیع یکنواخت از جریان هوا و دمای خشک کن، تعداد هفت هندسه مختلف از خشک کن با استفاده از نرم افزار فلوئنت مدلسازی و بطور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که قراردادن محفظه آب بندی شده در پهلو، عملکرد خشک کن را نسبت به انواع دیگر آن افزایش می دهد (Amanlou and Zomorodian,2010). کاکمک و یلدیز، یک تیغه چرخشی در مدخل ورودی مخزن خشک کن خورشیدی و هم چنین ۳۲ قطعه تسمه فلزی خم شده به ابعاد ۲۱*۵*۳ میلی متر در داخل مخزن در ارتباط با جریان مستقیم هوا نصب کردند. همچنین یک صفحه جاذب پلکانی برای کلکتور خشک کن برای تامین هوای گرم لازم برای خشک کردن شد. آزمایش های انجام شده نشان داد که خشک کردن محصولات توسط این خشک کن در زمان کمتری نسبت به نوع معمولی آن انجام شده است (Cakmak and Yaldiz, 2009). باقری و همکاران (۱۳۹۱)، تحقیقی را برای دستیابی به مناسب ترین مدل ریاضی خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی در یک خشک کن خورشیدی، انجام داده اند. آزمایش ها در سه سطح ضخامت ۳، ۵ و ۷ میلیمتر ورقه های گوجه فرنگی و در دو سطح سرعت هوای ۰/۵ و ۱ متر بر ثانیه انجام شد. به منظور پیدا کردن مناسب ترین مدل ریاضی خشک کردن، نتایج حاصل از آزمایش ها با ۹ مدل مختلف، تطبیق داده شد تا بهترین ضرایب در هرمدل بدست آید. زمردی و همکاران (۱۳۸۵)، استفاده از خشک کردن خورشیدی برای تهیه برگه گوجه فرنگی را مورد بررسی وتحقیق قرار دادند. آنها، برای افزایش راندمان حرارتی تجهیزات خورشیدی، خشک کن با دو مجموعه کلکتور را طراحی کرده و ساختند. عباسی و همکاران (۱۳۸۹)، مدل سازی ریاضی فرآیند خشک کردن پیاز به کمک خشک کن هوای داغ را مورد بررسی قرار داده و مدل مناسب خشک شدن در خشک کن کابینتی را بدست آوردند.

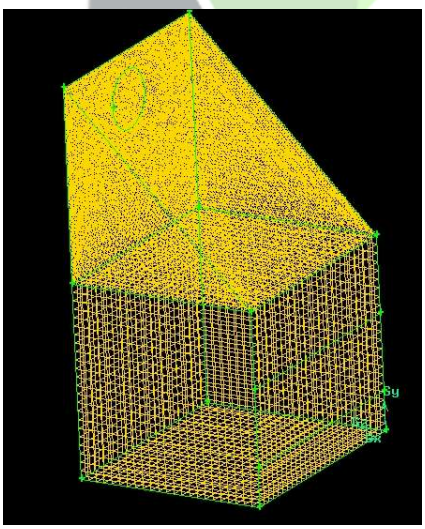
[1] Computational Fluid Dynamics (CFD)

در تحقیق حاضر، با مدلسازی عددی جریان در مخزن خشک کن خورشیدی، به مطالعه جریان و بررسی الگوی تغییرات اندازه سرعت پرداخته شده است. بدین ترتیب با ایجاد مدل های بهینه با استفاده از تیغه های مغشوش کننده جریان هوا[۲]، نسبت به اصلاح الگوی جریان با هدف افزایش زمان ماندگاری هوای گرم در مخزن خشک کن اقدام شده است. در ادامه، با ساخت این تیغه ها بر اساس نتایج حاصل از شبیه سلزی و نصب آن ها در خشک کن، روند خشک شدن ورقه های نازک گوجه فرنگی و زمان خشک شدن آن ها با شرایط اولیه مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

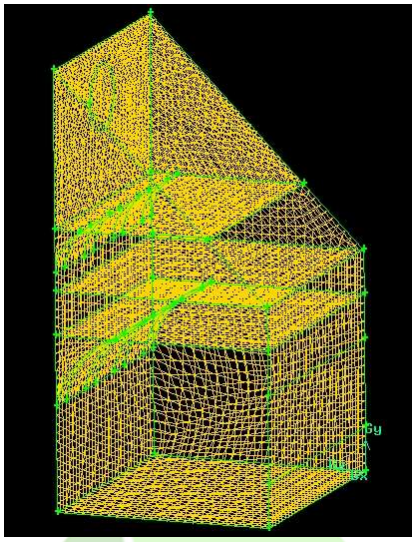
شبیه سازی المان محدود

در این تحقیق مدل سازی عددی جریان در مخزن خشک کن خورشیدی با استفاده از نرم افزار گمبیت و تحلیل آن در نرم افزار فلوئنت انجام شده است. تحلیل های انجام شده در دو حالت مخزن بدون تیغه های هدایت کننده هوا و با استفاده آن ها در مخزن انجام شده است. برای این منظور ابتدا مدل هندسی در نرم افزار گمبیت ساخته شده و پس از مش بندی به محیط نرم افزار فلوئنت انتقال یافته است. جریان هوای داخل مخزن در نرم افزار فلوئنت با توجه به شرایط مرزی ورودی و خروجی هوا شبیه سازی شده و با مطالعه وضعیت جریان نسبت به انتخاب تیغه های (مغشوش کننده جریان) هدایت کننده جریان هوا و نصب آن در مکان های مناسب در مخزن اقدام شده است. در این تحلیل از مدل آشفته K-ε استاندارد استفاده گردیده است. جهت اعمال شرایط مرزی یک هوای ورودی با سرعت ۰/۱۵۱۹ m/s و دمای ۳۰۰ کلوین در نظر گرفته شده است. همچنین در قسمت خروجی مخزن فشاری برابر با ۲۰۰۰- Pa جهت اعمال شرایط فن مکنده موجود در خروجی مخزن در نظر گرفته شده است. شکل های ۱ و ۲ مدل ۳ بعدی مش بندی شده مخزن بدون تیغه و با تیغه را نشان می دهد.



[2] Deflectors

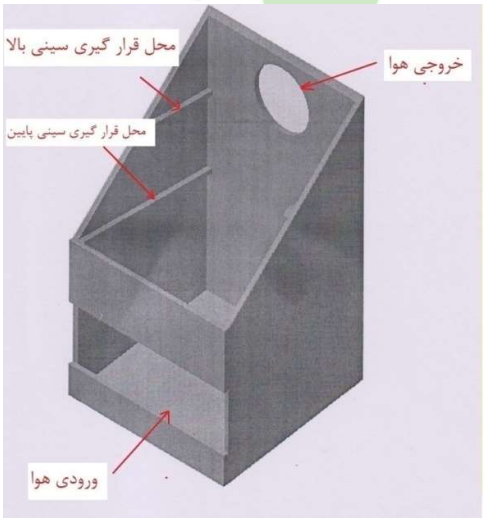
شکل ۱. مدل مش بندی شده مخزن بدون تیغه



شکل ۲. مدل مش بندی شده مخزن با تیغه های هدایت کننده هوا

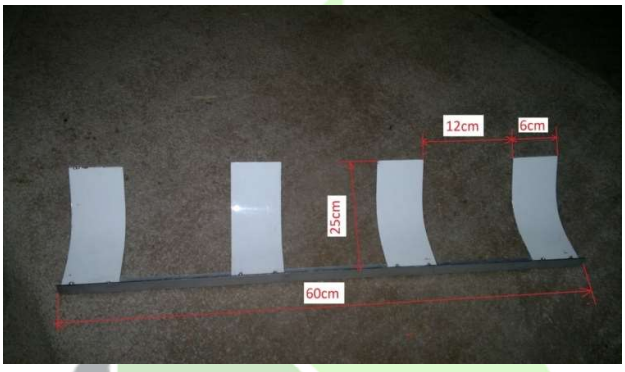
ساخت و نصب تیغه های هدایت کننده هوا در مخزن خشک کن

مخزن خشک کن خورشیدی و اجزاء آن در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، مخزن از یک ورودی هوای مستطیلی به ابعاد ۲۰ * ۶۰ سانتیمتر، یک خروجی هوای گرد به قطر ۱۵/۲۴ سانتیمتر و دو محل برای قرار گیری سینی های محصول تشکیل شده است. ورودی مخزن در حقیقت خروجی کلکتور می باشد که توسط یک فن مکنده که در قسمت خروجی مخزن تعبیه شده است، هوای گرم کلکتور را به داخل مخزن هدایت می کند و پس از عبور از سینی ها و محصول خارج می شود.



شکل ۳. مخزن خشک کن خورشیدی

بر اساس مدل سازی، تیغه های هدایت کننده هوا ساخته شد و در قسمت زیرین سینی های موجود در مخزن نصب گردید. شکل ۴ تیغه‌های به کار گرفته شده در قسمت زیرین سینی پائین مخزن را نشان می دهد. این تیغه ها شامل ورق های آلومنیمی به ابعاد ۲۵*۶ سانتیمتر بوده که دارای شعاع انحنای خاص مطابق با مدل نهایی به دست آمده، می باشند. این تیغه ها با فواصل ۱۲ سانتیمتر از یکدیگر بر روی یک نبشی آلومینیومی توسط میخ پرچ هایی نصب شده‌اند.



شکل ۴. تیغه های هدایت کننده هوا

در زیر سینی بالا دو طرح تیغه بعد از مدلسازی انتخاب و ساخته شد. در طرح اول تعداد ۴تیغه با ابعاد ۱۵*۶ سانتیمتر و با فاصله ۱۲ سانتیمتر از یکدیگر نصب شدند بطوریکه هر تیغه دقیقاً بالای تیغه مشابه در مجموعه تیغه سینی پایین قرار گرفته است. در طرح دیگر ۳ تیغه با ابعاد ۲۰*۱۲ سانتیمتر ساخته شد بطوریکه بعد از نصب در مخزن خشک کن، هر تیغه دقیقاً بالای فضای خالی بین تیغه ها در زیر سینی پایین قرار گرفت.

آماده سازی خشک کن

قبل از شروع به کار با خشک کن، ابتدا داخل مخزن تمیز و ورقه های نازک گوجه فرنگی با ضخامت ۶ میلیمتر بر روی سینی ها چیده شد. برای بررسی تاثیر تیغه های هدایت کننده هوا بر زمان خشک شدن، خشک کن خورشیدی در محیط کارگاه مستقر شد و با روشن نمودن گرم کن های برقی که به عنوان سیستم گرمایش کمکی در خشک کن درنظر گرفته شده است، دمای ثابت ۶۰ درجه سلسیوس در مخزن خشک کن ایجاد شد. در این شرایط دبی هوای در خشک کن معادل با ۰/۰۱۸ مترمکعب بر ثانیه درنظر گرفته شد.

آزمایش های تجربی

برای بررسی تأثیر تیغه های هدایت کننده جریان هوا بر زمان خشک شدن محصول، ۳ آزمایش ذیل در خشک کن صورت گرفت:

۱- خشک کردن بدون نصب تیغه های هدایت کننده جریان هوا در مخزن.

۲- خشک کردن با نصب تیغه های هدایت کننده بطوریکه از طرح چهار تیغه ای در زیر سینی بالا (طرح اول) استفاده شده است.

۳- خشک کردن با نصب تیغه های هدایت کننده بطوریکه از طرح سه تیغه ای در زیر سینی بالا (طرح دوم) استفاده شده است.

خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی با رطوبت اولیه حدود ۹۴ درصد بر پایه تر، تا رسیدن رطوبت نهایی نمونه ها به حدود ۶ درصد (بر پایه تر) ادامه یافت. جرم آب تبخیر شده تا رسیدن نمونه ها به رطوبت یاد شده، از رابطه (۱) محاسبه می شود. تغییرات رطوبت نمونه های محصول با توزین آن در هر نیم ساعت تا رسیدن به رطوبت مدنظر، تعیین شد.

$$m_w = \frac{m_i(x_i - x_f)}{100 - x_f} \quad (۱)$$

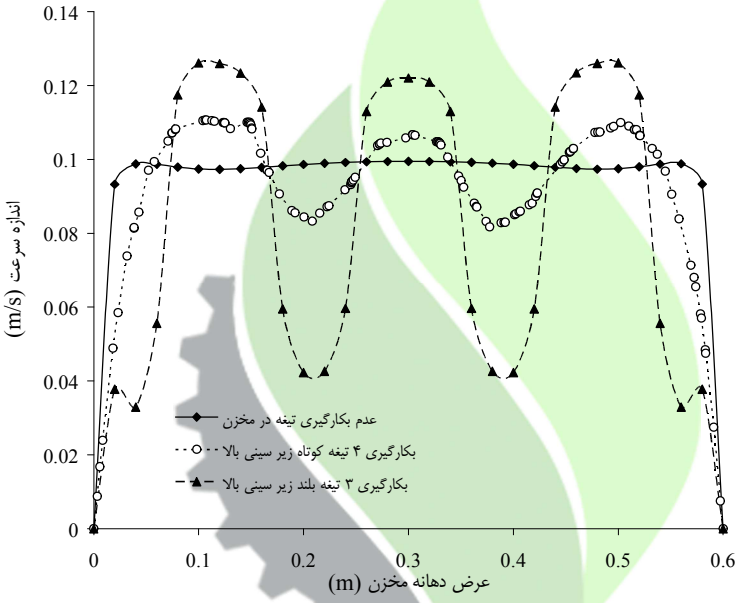
در این رابطه، m_w جرم آب تبخیر شده، m_i جرم خالص اولیه محصول، x_i رطوبت اولیه محصول (بر پایه تر) و x_f رطوبت نهایی محصول (بر پایه تر) می باشد.

نتایج و بحث

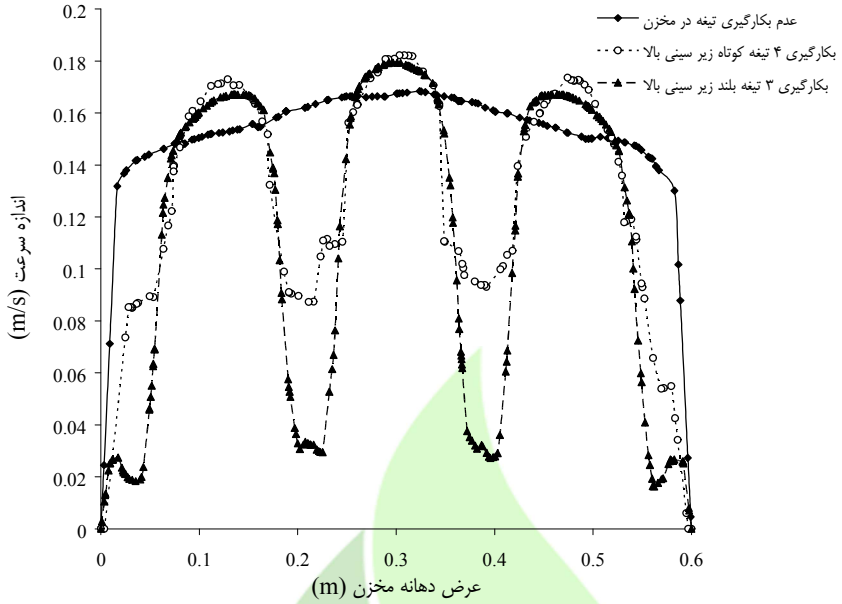
الگوی تغییرات سرعت در مخزن

هوا به صورت محوری و بدون هیچگونه چرخش اولیه وارد محفظه خشک‌کن می‌شود و در این محیط توسعه می یابد. این جریان با حداقل پیچش از دهانه خروجی مخزن به محیط بیرون منتقل می شود. نصب تیغه های هدایت کننده هوا باعث تغییر شدید جریان هوا خصوصاً در نواحی اطراف تیغه ها می گردد. نتایج حاصل از مدلسازی نشان داد که جریان هوا در مخزن کاملاً مغشوش شده بطوریکه باعث ایجاد نوسانات زیاد در اندازه سرعت سیال خواهد شد. شکل ۵ تغییرات اندازه سرعت در ناحیه ورودی هوا در زیر سینی پایین را نشان می دهد. تغییرات سرعت در عرض مخزن خشک کن برای سه حالت، عدم کاربرد هیچ تیغه ای در مخزن، کاربرد ۲ ردیف ۴ تیغه ای در زیر سینی های پایین و بالا (طرح اول) و همچنین کاربرد یک ردیف ۴ تیغه ای زیر سینی پایین و یک ردیف ۳ تیغه ای با ابعاد بزرگتر در زیر سینی بالا (طرح دوم) را نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود، نصب تیغه ها باعث ایجاد نوسانات شدید در اندازه سرعت هوا شده است بطوری‌که این نوسانات در طرح دوم به علت افزایش اندازه تیغه

ها و نصب یک در میان آن ها نسبت به تیغه های ردیف پایین، افزایش یافته است. این پدیده باعث کاهش سرعت متوسط هوا در مخزن خشک کن و در نتیجه افزایش ماندگاری هوای گرم در مخزن می گردد. تغییرات اندازه سرعت در زیر سینی پایین در شکل ۵ و در زیر سینی بالا در شکل ۶ نشان داده شده است. در این ناحیه نیز می توان تاثیر به کارگیری تیغه های مغشوش کننده جریان هوا را بر نوسانات شدید سرعت در عرض مخزن خشک کن مشاهده نمود. طرح دوم به کارگیری تیغه های مغشوش کننده باعث افزایش نوسانات سرعت و در نتیجه کاهش متوسط اندازه سرعت شده است. همانطور که مشاهده می شود، در این ناحیه متوسط اندازه سرعت نسبت به ناحیه زیر سبنی پایین بیشتر است زیرا با نزدیک شدن به مرز خروجی مخزن و ناحیه استقرار شیشه بر روی مخزن خشک کن، سطح مقطع کاهش یافته و در نتیجه سرعت جریان افزایش پیدا کرده است.



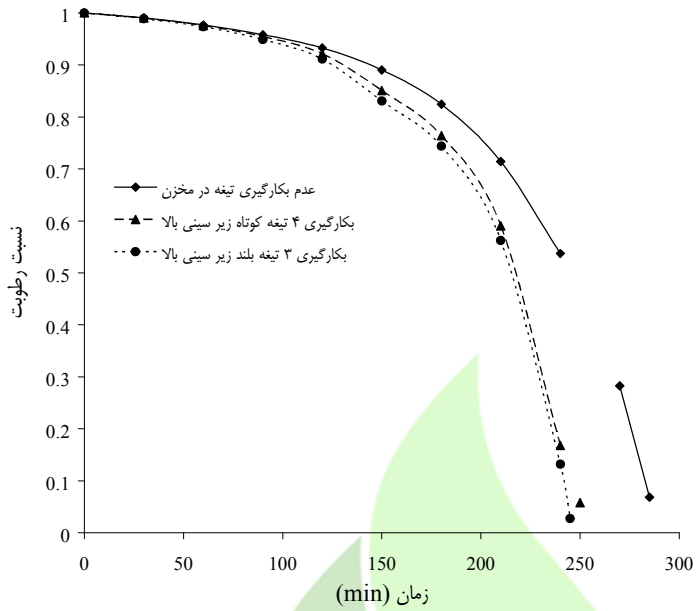
شکل ۵. تغییرات اندازه سرعت در زیر سینی پایین در شرایط عدم بکارگیری و یا بکارگیری تیغه های مغشوش کننده



شکل ۶. تغییرات اندازه سرعت در زیر سینی بالا در شرایط عدم بکارگیری و یا بکارگیری تیغه های مغشوش کننده

تغییرات نسبت رطوبت در مخزن خشک کن

به منظور راست آزمایی نتایج عددی و مشاهده تاثیر بکارگیری تیغه های مغشوش کننده هوا در مخزن، خشک شدن لایه های نازک گوجه فرنگی در خشک کن در سه حالت عدم بکارگیری تیغه، کاربرد ۲ ردیف ۴ تیغه ای در زیر سینی های پایین و بالا و همچنین کاربرد یک ردیف ۴ تیغه ای زیر سینی پایین و یک ردیف ۳ تیغه ای با ابعاد بزرگتر در زیر سینی بالا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مخزن بدون تیغه های مغشوش کننده، شدت خشک شدن کمتر بوده و زمان خشک شدن طولانی تر است. در حالیکه نصب تیغه های مغشوش کننده در مخزن باعث تشدید روند خشک شدن می گردد. زمانی که از ۳ عدد تیغه بزرگتر به صورت یک در میان نسبت به ردیف پایینی تیغه ها استفاده می شود، شدت خشک شدن مقداری بیشتر شده و زمان خشک شدن در مقایسه با کاربرد ۴ عدد تیغه کوچکتر زیر سینی بالا، اندکی کاهش می یابد. کاربرد تیغه های مغشوش کننده باعث افزایش زمان ماندگاری هوای گرم در مخزن خشک کن و در نتیجه تسریع در روند خشک شدن می شود (شکل ۷).



شکل ۷. تغییرات نسبت رطوبت در شرایط عدم بکارگیری و یا بکارگیری تیغه های مغشوش کننده

نتیجه‌گیری

به کار گیری تمهیدات لازم در استفاده بهینه از انرژی حرارتی حاصل از جریان هوای گرم در خشک کن خورشیدی، تاثیر بسزایی در افزایش کارایی خشک کن و کاهش زمان خشک شدن دارد. یکی از راهکارهای مناسب برای رسیدن به این هدف، ایجاد اغتشاش در جریان هوای گرم عبوری از مخزن خشک کن با نصب تیغه های هدایت کننده جریان در مخزن خشک کن می باشد. برای رسیدن به بهترین حالت نصب تیغه ها در جداره مخزن، ابتدا جریان هوا در مخزن خشک کن با استفاده از روش دینامیک سیال محاسباتی شبیه سازی گردید. نتایج حاصل از مدل سازی الگوی جریان هوا در مخزن خشک کن نشان داد که استفاده از تیغه های مغشوش کننده جریان باعث ایجاد نوسانات شدید در الگوی جریان و اندازه سرعت هوا شده است. این امر باعث کاهش متوسط اندازه سرعت هوا خصوصاً در زمان استفاده از ۳ عدد تیغه بزرگ در زیر سینی بالا و نصب آن ها به صورت یک در میان نسبت به تیغه های زیر سینی پایین، شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از خشک کردن لایه های نازک گوجه فرنگی در خشک کن، استفاده از تیغه های مغشوش کننده در مخزن باعث افزایش شدت خشک شدن و کاهش زمان خشک شدن تا حداکثر ۴۰ دقیقه گردید.

منابع

۱- باقری، ه، حسینی، ا.ع. و کیانمهر، م.ح. ۱۳۹۱. انتخاب مدل ریاضی مناسب برای خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی در خشک‌کن خورشیدی. نشریه ماشین‌های کشاورزی. ص ۱۳۶-۱۲۷.
۲- زمردی، ش.، محمدی، م. و فرجیان، م. ۱۳۸۵. استفاده از خشک کن خورشیدی برای تهیه برگه گوجه فرنگی. شانزدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران.

۳- عباسی، ص.، موسوی، م. و محبی، م. ۱۳۸۹. مدلسازی ریاضی فرآیند خشک کردن پیاز به کمک خشک کن هوای داغ. نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران. صفحه ۲۳۴-۲۲۹.

4- Amanlou, Y. and A., Zomorodian. 2010. Applying CFD for designing a new fruit cabinet dryer. Journal of Food Engineering. 101: 8–15.

5- Cakmak, G. and C., Yildiz. 2009. Design of a new solar dryer system with swirling flow for drying seeded grape. International Communications in Heat and Mass Transfer. 36: 984-990.

6- Maia, C.B. 2012. Simulation of the airflow inside a hybrid dryer. IJRRAS. 10: 382-389.

7- Rigit, A.R.H. and P.T.K., Low. 2010. Heat and Mass Transfer in a Solar Dryer with Biomass Backup Burner. World Academy of Science Engineering and Technology. 38: 105–108.

Numerical modeling of flow in the chamber of a solar dryer in order to optimize the use of air deflectors

Omid Reza Roustapour[1*], Ali Reza Tahhavor[2] and Kamalodin.mozaffari[3]

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Center of Agricultural Research and Natural Resource For Fars Province, roustapour@farsagres.ir
2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Azad Eslami University of Shiraz
3- MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Azad Eslami University of Shiraz

Abstract

Solar dryers are used to dry agricultural products extensively. One of the most important problem in applying these type of dryer is the low efficiency of them. There are several methods to optimize the efficiency by decreasing the drying period. In current research tried to increase the residence time of hor air in the dryer chamber. Therefore, the flow in the chamber was modeled by CFD method initially. The aim of this modeling was the recognition of the air flow pattern and creation of suitable recirculation flow in order to increase the colapse time of hot air in the chamber. The air flow pattern was simulated by Fluent software. Some air defelectors considered below the trays of the chamber. The suitable places and deflector dimension were obtained by constructing several models. These defelectors caused to increase the air residence time by creation vertices in flow pattern. In order to observe the effect of these variation in the flow, these deflectors were built and installed in the chamber based on the suitable model. Tomato slices with 6 mm thickness were dried when the mean air temperature and air flow rate selected as 60 ^{o}C and 0.018 m^{3}/s, respectively. In accordance with the results, Intensity of drying was increased when deflectors used in the dryer chamber.

Keywords: Air deflectors, CFD, Solar dryer, Tomato