



مدل سازی عددی تیغه های بادگیر در اصلاح الگوی جریان هوای خشک کن کابینتی

فرزین کاظمی^۱، امید رضا روستاپور^{۲*} و حمید رضا گازر^۳

۱- دانش آموخته ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافق (farzin.s2000@gmail.com)

۲- موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (o.roostapour@areo.ir)

۳- موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (hgazor@yahoo.com)

چکیده

برای افزایش زمان ماندگاری هوا در مخزن خشک کن کابینتی آزمایشگاهی و استفاده بهینه از انرژی حرارتی جریان هوا، ابتدا جریان سیال با استفاده از تکنیک دینامیک سیال محاسباتی شبیه سازی شد. برای این منظور ابتدا هندسه مخزن توسط نرم افزار گمبیت تولید و شبکه بندی و در ادامه معادلات حاکم بر جریان در نرم افزار فلوئنت حل شد. به منظور دستیابی به بهترین الگوی جریان هوا، تیغه های بادگیر در شرایط مختلف از لحاظ ابعاد و موقعیت استقرار در جداره مخزن تعریف و شبیه سازی شد. نتایج مدل سازی در شرایط بدون تیغه های بادگیر نشان داد که هوای ورودی بدون هیچ مانعی به سمت دهانه خروجی ادامه مسیر می دهد. به کارگیری تیغه های بادگیر، ماندگاری هوا در مخزن را افزایش داده و زمان بیشتری برای تبادل گرما و رطوبت را محیا می کند. نتایج مدل سازی عددی نشانگر افزایش سرعت جریان در سطح رویه سینی ها و توزیع دمای یکنواخت در شرایط به کارگیری تیغه های بادگیر بوده است.

واژه های کلیدی: خشک کن کابینتی، مدل سازی دینامیک سیال، تیغه های هدایت کننده جریان هوا، الگوی جریان هوا

نویسنده مسئول: o.roostapour@areo.ir



فهرست نمادها

واحد	نماد	شرح
mm	d_h	قطر هیدرولیکی
-	l	شدت اغتشاش
m^2/s^2	k	انرژی جنبشی آشفته
-	Re_{d_h}	عدد رینولدز با طول مشخصه قطر هیدرولیکی
m/s	u'	نوسانات سرعت
m/s	$\bar{u}(u_{ave})$	سرعت جریان متوسط
m/s	V	سرعت هوای ورودی
m^2/s^3	ε	نرخ استهلاك آشفته
kg/m.s	μ_a	ویسکوزیته هوا
kg/m.s	μ_t	لزجت آشفته
kg/m ³	ρ	جرم حجمی سیال



مدل‌سازی عددی تیغه‌های بادگیر در اصلاح الگوی جریان هوای خشک‌کن کابینتی

مقدمه

فرآیند خشک کردن عبارت است از کاهش ظرفیت رطوبتی محصول که باعث خشک شدن و کاهش فعل‌وانفعالات شیمیایی می‌شود. آب‌زدایی باعث کاهش حجم و وزن محصول در طی فرآیند می‌شود. خشک‌کن تونلی یکی از خشک‌کن‌های است که از منابع مختلف انرژی از جمله گرم‌کن‌های برقی یا انواع مشعل‌ها می‌توان برای فرآیند خشک کردن استفاده کرد. با توجه به مصرف بالای انرژی در این خشک‌کن‌ها، محققان راه کارهای مناسب برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در خشک‌کن‌ها همانند چندمرحله‌ای کردن خشک کردن و استفاده مجدد از هوای خروجی ارائه داده‌اند [۱ و ۹و۲].

انتقال جرم و حرارت در یک خشک‌کن خورشیدی شامل یک مشعل پشتیبان با روش CFD شبیه‌سازی شد. بر اساس نتایج، در مدل جابجایی آزاد توزیع دمایی در محفظه خشک‌کن یکنواخت‌تر و خشک کردن فلفل در این شرایط مناسب‌تر است [۱۷].

با استفاده از روش دینامیک سیال محاسباتی، جریان در یک خشک‌کن کابینتی شبیه‌سازی شد. در این راستا برای دستیابی به توزیع یکنواخت از جریان هوا و دما در محفظه، هفت هندسه مختلف از خشک‌کن ارائه و مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که آب‌بندی محفظه در دیواره‌های جانبی، عملکرد خشک‌کن را افزایش می‌دهد [۸].

انجام محاسبات سرعت هوا در خشک‌کن‌های جریان هوای موازی و مدرن گوشت با استفاده از مدل ناپایدار دینامیک سیال جریان مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از مدل دوبعدی توزیع همگن جریان هوا در خشک‌کن با چندین سامانه گردش هوا، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت [۱۵].

توسعه‌ی هندسه‌ی مجاری داخلی جریان هوا در استوانه‌های خشک‌کن غلتکی^۱ به روش دینامیک سیال جریان توسط فاسبرگ انجام و به بهترین هندسه‌ی ممکن (چرخشی) دستیابی شد [۱۰].

جریان در مخزن خشک‌کن خورشیدی به روش دینامیک سیال محاسباتی مدل‌سازی شد و به بهترین مدل کاربرد تیغه‌های بادگیر با ابعاد و محل نصب مناسب در زیر هر یک از سینی‌های خشک‌کن، دستیابی شد. بر اساس نتایج، کاربرد تیغه‌ی بادگیر جریان باعث افزایش راندمان خشک‌کن و کاهش زمان فرآیند گردید [۱۸].

برگشت هوای گرم خروجی به میزان ۷۵ درصد باعث کاهش انرژی مصرفی فرآیند خشک کردن می‌شود اما بیش از این مقدار سبب افزایش انرژی مصرفی به دلیل افزایش رطوبت نسبی خواهد شد. افزایش جریان باعث بالارفتن میزان انتقال حرارت از سطح صفحه‌ی جاذب و در نتیجه افزایش راندمان خشک‌کن می‌شود [۲].

جریان هوا در بستر ثابت توده شلتوک در خشک‌کن آزمایشگاهی با دو نوع ورودی هوای معمولی و هشتی شکل^۲ را به صورت سه‌بعدی و گذرا مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که میزان مصرف انرژی در دو حالت یکسان ولی در الگوی هشتی شکل سرعت جریان هوا بیشتر بود. همچنین میزان افت فشار در خشک‌کن با ورودی هوای معمولی حدود ۱۰ درصد بیشتر از ورودی هوای هشتی شکل می‌باشد [۶]. جریان هوا در خشک‌کن آزمایشگاهی برنج با دو نوع ورودی هوای کنارگذر و میان‌گذر در شرایط گذرا شبیه‌سازی عددی شد. بر اساس نتایج، هوا در الگوی میان‌گذر با سرعت بیشتری جریان می‌یابد و به تمام نقاط مخزن شلتوک نفوذ می‌کند. عدم وجود کانال میانی در

1 Roller/Drum dryer
2 Porch (Reverse V type)



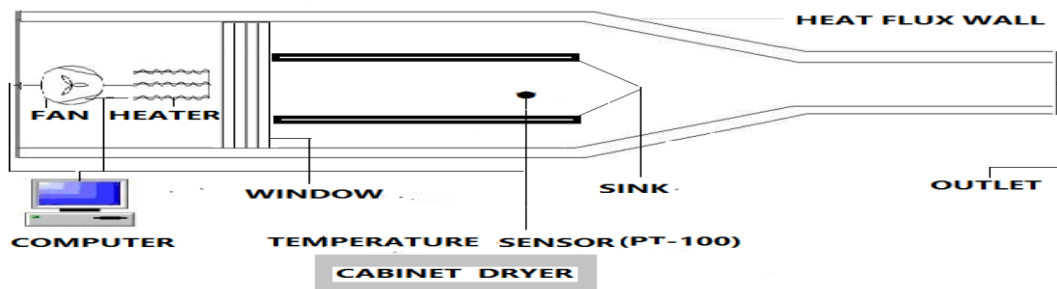
الگوی کنارگذر منجر به تولید میدان دمایی نامنظم با اعوجاج زیاد می‌شود. نفوذ خوب هوا باعث کاهش میزان مصرف انرژی نسبت به الگوی کنارگذر شده است [۴].

در تحقیق حاضر الگوی جریان در مخزن خشک‌کن کابینتی نیمه‌صنعتی به ابعاد $0.7 \times 3/4$ متر با روش دینامیک سیالات محاسباتی شبیه‌سازی و به مطالعه جریان و بررسی الگوی تغییرات اندازه سرعت پرداخته شد. در ادامه با ایجاد مدل‌های بهینه با استفاده از تیغه‌های مغشوش کننده جریان هوا نسبت به اصلاح الگوی جریان، باهدف افزایش زمان ماندگاری هوای گرم در مخزن خشک‌کن اقدام گردید.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی جریان در خشک‌کن کابینتی

در خشک‌کن کابینتی مورد استفاده در این تحقیق، توده‌ی هوای گرم به‌صورت موازی از روی سینی‌های محصول به‌منظور تبخیر رطوبت، جریان می‌یابد. برای ایجاد جریان هوا، در ورودی خشک‌کن از یک دمنده با ظرفیت ۲۹۷۰ متر مکعب بر ساعت استفاده شده است. حداکثر ظرفیت این خشک‌کن ۲۰ کیلوگرم در هر وعده می‌باشد. شکل ۱ شماتیک این خشک‌کن و تجهیزات به‌کاررفته در آن از جمله حسگر دمای PT100 و محل نصب آن بر جداره مخزن را نشان می‌دهد.



شکل ۱: شماتیک فرآیند خشک‌کن کابینتی

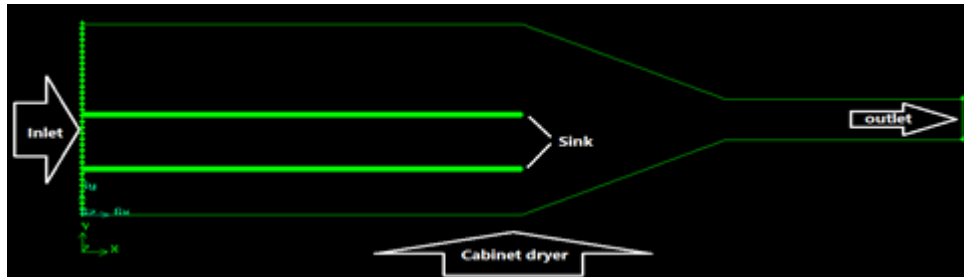
جریان هوا در خشک‌کن کابینتی شامل هوای عبوری کنترل‌شده بر روی محصول به سمت خروجی مخزن می‌باشد. برای مدل‌سازی و حل معادلات مومنتم و انتقال حرارت، به دست آوردن سرعت ورودی‌های هوا ضروری است از این رو باید دبی کلی هوای ورودی مشخص باشد و مشخصات مربوط به ابعاد و قطر هیدرولیکی ورودی‌های صفحه مشبک نیز به‌طور جداگانه محاسبه شود.

تولید مدل هندسی، ساخت شبکه و بررسی استقلال از شبکه

هندسه خشک‌کن با توجه به تقارن موجود و محدودیت‌هایی از قبیل هزینه محاسباتی و وجود بیش از ۹۰۰ دیواره مختلف در محل قرار قرارگیری سینی‌ها، به‌صورت دوبعدی مدل‌سازی شد. توزیع هوای گرم در محفظه خشک‌کن از طریق ۳۳ دریچه ورودی همسان صورت می‌گیرد که ابعاد هر کدام $16/36 \times 700$ میلی‌متر است (شکل ۲). برای مدل‌سازی، دریچه‌های ورودی هوا با قطر هیدرولیکی یکسان تعریف شد. دبی هوای عبوری از مجموع آن‌ها معادل دبی هوای عبوری کلی بود. شرط مرزی ورودی در این ناحیه، سرعت ورودی^۱ در نظر گرفته شده است. برای اعمال این شرط مرزی برای ۳۳ ورودی هوا، لازم

¹Velocity Inlet

بود که دبی هوای عبوری از هر دریچه، دمای هوای ورودی، جهت بردارهای سرعت هوای ورودی و در نهایت شدت آشفته‌گی و قطر هیدرولیکی ورودی و یا مقادیر k و ε معرفی شوند.



شکل ۲: مدل هندسی دوبعدی خشک کن

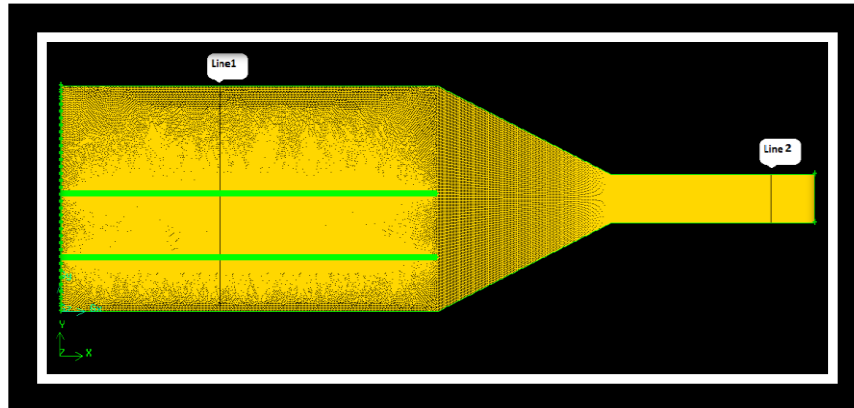
هندسه محفظه در محدوده‌ی سینی‌ها و قسمت خروجی به ترتیب توسط شبکه با ساختار بدون سازمان (سلول‌های مثلثی^۱) و شبکه با ساختار با سازمان (سلول‌های چهارضلعی^۲) مدل شد. سه نوع شبکه با تعداد سلول‌های مختلف برای خشک کن جهت بررسی استقلال از شبکه تولید شد. جدول ۱ تعداد سلول‌های سه شبکه تولید شده در خشک کن را نشان می‌دهد.

برای تعیین کیفیت همگرایی حل، مجموع قدرمطلق مقادیر باقی‌مانده جرمی تمام سلول‌های شبکه تقریباً مساوی کل دبی جریان هوای ورودی به محفظه‌ها بوده است. انتخاب شبکه و ریز بودن آن در ارائه جواب مطمئن با حداقل خطا بسیار مهم بود. برای بررسی استقلال میدان حل از شبکه انتخاب شده، مقایسه مقادیر سرعت محوری و یا مقادیر k و ε برای شبکه‌های مختلف انجام می‌شود [۱۲].

جدول ۱: شبکه‌های تولید شده برای خشک کن

تعداد سلول‌های تولید شده	شبکه ۱	شبکه ۲	شبکه ۳
محفظه سینی‌ها	۱۲۲۳۰۰	۱۳۱۳۶۵	۱۵۳۶۲۲
محفظه خروجی	۹۶۵۶	۱۹۳۱۲	۳۲۱۶۳

شبکه‌های ساخته شده، هر یک به‌طور مستقل اما با روش مشابه در نرم‌افزار Gambit تولید و در نرم‌افزار Fluent تحلیل شدند. به‌منظور اطمینان از انتخاب بهترین شبکه، استقلال جواب‌ها از شبکه بررسی شد. برای این منظور جریان در هر سه شبکه مدل‌سازی و تغییرات سرعت در مقاطع مختلف خشک کن تعیین گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بزرگ‌ترین شبکه با انحراف بیش از ۵ درصد نسبت به دو شبکه دیگر مناسب نیست. اختلاف بین دو شبکه کوچک‌تر ناچیز و در حدود ۱ درصد است لذا شبکه متوسط به‌عنوان بهترین شبکه انتخاب شد. شکل ۳ شبکه نهایی مورد استفاده برای تحلیل را نشان می‌دهد.



شکل ۳: المان نهایی به کاررفته در تحلیل جریان در محفظه خشک کن

آشفته‌گی و معادلات حاکم بر جریان سیال

در مدل‌سازی جریان آشفته در مخزن خشک کن، از مدل استاندارد $k-\varepsilon$ استفاده شد. جریان هوا در خشک کن، یک جریان تراکم ناپذیر و پایدار در نظر گرفته شد لذا در معادلات ۱ و ۲ تغییرات زمانی انرژی جنبشی آشفته و نرخ استهلاک آشفته‌گی صفر است. برای شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان آشفته در خشک کن کابینتی خورشیدی با فرض تراکم ناپذیر بودن آن از مدل استاندارد $k-\varepsilon$ استفاده شد [۱۸]. در مدل‌سازی دوبعدی خشک کن پاششی [۱۱ و ۱۶ و ۱۹] و همچنین در مدل‌سازی سه‌بعدی خشک کن پاششی از مدل $k-\varepsilon$ استاندارد جریان آشفته استفاده شد [۱۳ و ۱۴ و ۲۱].

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k - \rho \varepsilon \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2)$$

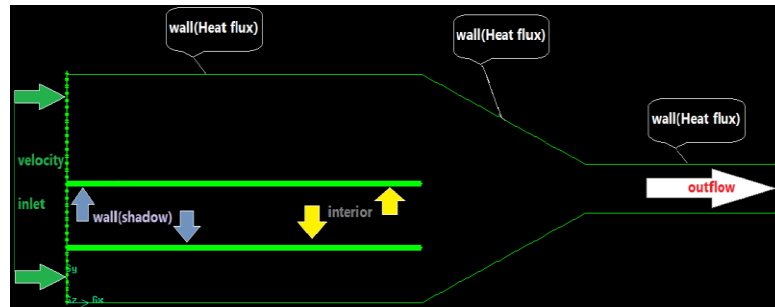
در این روابط، ضرایب σ_k ، σ_ε و $C_{1\varepsilon}$ و $C_{2\varepsilon}$ ثابت‌های تجربی هستند و مقادیر زیر برای آن‌ها در نظر گرفته شده است [۲۰].

$$C_\mu = 0.09 \quad \sigma_k = 1, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3, \quad C_{1\varepsilon} = 1.44, \quad C_{2\varepsilon} = 1.92,$$

شرایط مرزی خشک کن

در مدل دوبعدی خشک کن، کلیه شرایط مرزی جداره‌های خارجی، دیوار^۱ و جداره‌های داخلی (دیوار از نوع زوج^۲ و داخلی^۳)، شرط مرزی ورودی هوا "سرعت ورودی"^۴ و شرط مرزی خروجی "جریان خروجی"^۵، تعریف شد (شکل ۴). طبق دفترچه راهنمای دمنده کل جریان هوای ورودی به خشک کن ۰/۰۲ مترمکعب بر ثانیه است. برای به دست آوردن سرعت در مرز ورودی مخزن، با توجه به درجه ورودی شامل ۳۳ دهانه مستطیلی به ابعاد ۱۶/۴ × ۷۰۰ میلی‌متر و مساحت هر دهانه ۰/۵۴ مترمکعب، سرعت ورودی ۰/۰۵۳ متر بر ثانیه خواهد بود. شدت اغتشاش از روابط تجربی ذیل (رابطه ۳) مربوط به سطح مقطع مربعی، تخمین زده شد [۳].

1 Wall
2 Wall-Couple
3 Interior
4 Velocity Inlet
5 Out flow



شکل ۴: طرح‌واره شرایط مرزی

$$Re_{d_h} = \rho V d_h / \mu_a$$

$$I = u' / u_{ave} \cong 0.16(Re_{d_h})^{-1/8} \quad (3)$$

مقادیر فاکتورهای لازم برای تعریف شرط مرزی جریان برای هر یک از ورودی‌های هوا در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: شرط مرزی ورودی جریان برای هر یک از ورودی‌ها

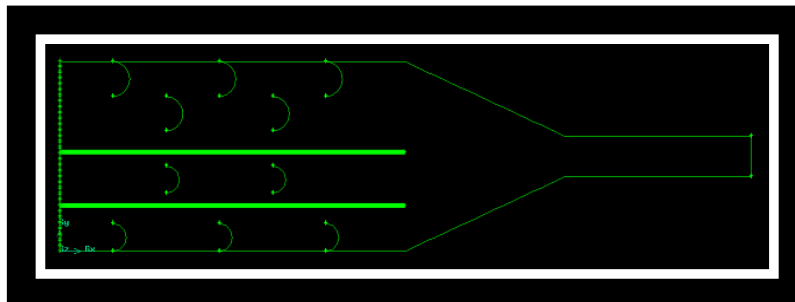
پارامتر	مقدار	واحد
سرعت	۰/۰۵۳	متر بر ثانیه
شدت آشفتنگی	۸/۸۳	%
قطر هیدرولیکی	۰/۰۳۲	متر
دما	۳۴۳	کلوین

شرایط مرزی در خروجی خشک کن جریان خروجی^۱ منظور شد. شرایط مرزی جداره داخلی نواحی سینی‌ها و تیغه‌های موجود در مخزن، به دلیل وجود سیال در دو طرف، دیوار دوطرفه^۲ است و برای جفت کردن دو ناحیه، گزینه زوج استفاده شد. برای تعریف انتقال حرارت در جداره نواحی استقرار سینی‌ها و خروج هوا، از شرط عایق^۳ استفاده شد. فرمول‌بندی به صورت مبهم^۴ در نظر گرفته و با تعریف سرعت‌ها به صورت مطلق، مسئله جهت حل آماده شد. مدل به صورت دوبعدی تقارن محوری و از نظر زمانی به صورت پایدار فرض و معادلات تا دستیابی به دقت 10^{-1} حل شد.

طراحی و ساخت تیغه‌های هدایت‌کننده جریان هوا

برای کاهش مصرف انرژی در خشک کن باید زمان ماندگاری هوا افزایش یابد. این کار با ایجاد موانع بر سر راه جریان و استفاده از تیغه‌های هدایت‌کننده‌ی هوا^۵ (تیغه‌های بادگیر) امکان‌پذیر است. در این راستا مدل‌های مختلفی تعریف و مورد بررسی قرار گرفت. در انتها بهترین مدل انتخاب و نسبت به ساخت و نصب تیغه‌ها بر اساس مدل بهینه در مخزن خشک کن اقدام شد. مدل بهینه انتخابی، کاربرد دو ردیف تیغه در دیواره‌های جانبی مخزن و بر روی هر سینی می‌باشد (شکل ۵).

1 Pressure outlet
2 Two-sided wall
3 Heat flux
4 Implicit
5 Air deflector plates



شکل ۵: مدل هندسی مخزن شامل تیغه‌های هدایت‌کننده‌ی هوا

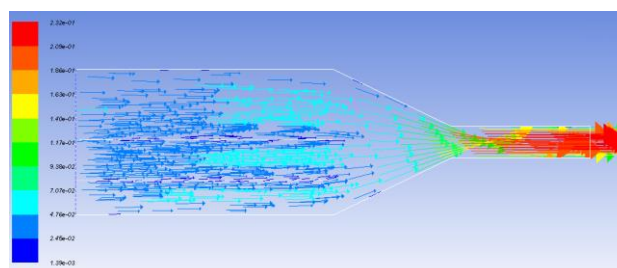
راستی آزمایی سرعت در محفظه خشک کن

سرعت جریان هوا با استفاده از سرعت‌سنج سیم داغ مدل AM20 ساخت شرکت Lutron تایوان با حساسیت ۰/۱ متر بر ثانیه تعیین شد. اندازه‌گیری در میانه مخزن و کانال خروجی با قرائت سرعت جریان در نقاط مختلف هر مقطع طی سه تکرار انجام شد و بدین ترتیب تغییرات سرعت در هر مقطع تعیین گردید. برای راست‌آزمایی، تغییرات سرعت به‌دست آمده از اندازه‌گیری با تغییرات سرعت حاصل از الگوی جریان در مدل مقایسه خواهد شد.

تحلیل نتایج

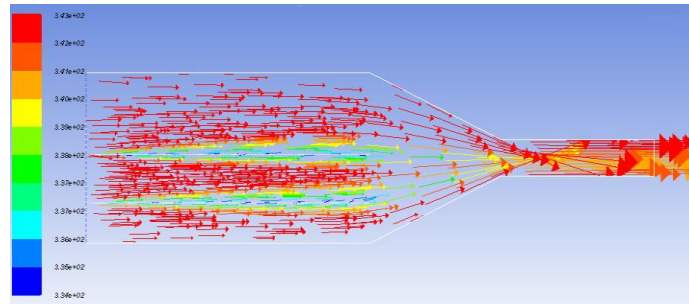
الگوی جریان در مخزن خشک‌کن بدون کاربرد تیغه‌های بادگیر

الگوی جریان و بردارهای سرعت جریان در مخزن خشک‌کن بدون استفاده از تیغه‌های هدایت‌کننده‌ی هوا در شکل ۶ نشان داده شده است. در ناحیه ورودی مخزن به علت شکل هندسی و بزرگ‌تر بودن حجم آن نسبت به حجم ناحیه خروجی، سرعت کمتر بوده و در ادامه جریان به سمت کانال خروج هوا افزایش اندازه سرعت مشاهده می‌گردد. همچنین کاهش شدید سرعت در سطح رویه سینی‌ها که به‌عنوان مرز دیواره داخلی تعریف شده است، مشاهده می‌شود. این الگو مشابه الگوی جریان هوای شبیه‌سازی شده برای فرایند خشک‌کردن گوشت می‌باشد [۱۵].



شکل ۶: بردار سرعت در مخزن برای حالت بدون تیغه

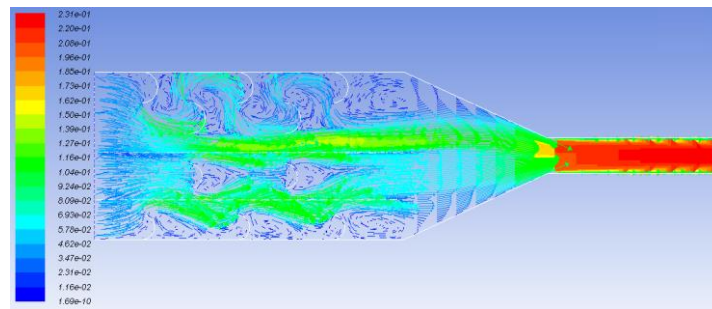
شکل ۷ بردار تغییرات دما در مخزن خشک‌کن بدون تیغه‌های بادگیر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل ملاحظه می‌شود در ناحیه استقرار سینی‌ها، جریان هوا در بدو ورود به محض برخورد با لبه‌ی سینی‌ها دچار اعوجاج و جدایش شده و باعث می‌شود در سطح رویه سینی‌ها دما کاهش یابد درحالی‌که در بقیه نقاط مخزن بالاترین دما ایجاد شده است. این روند تلفات هوای گرم را به دنبال خواهد داشت و هوا بدون تأثیرگذاری مناسب از خشک‌کن خارج می‌شود. شکل و انداده‌ی بردارها نشان‌دهنده این جریان می‌باشند.



شکل ۷: بردار دما در مخزن برای حالت بدون تیغه

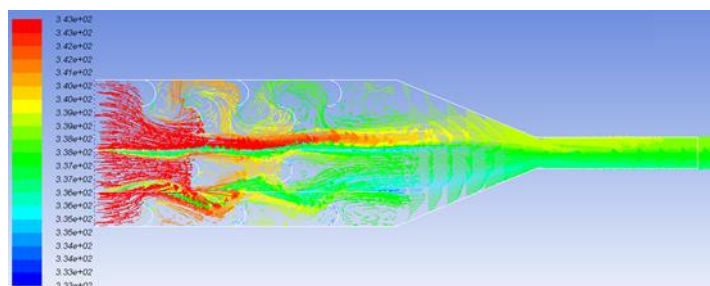
الگوی جریان در مخزن خشک کن با به کارگیری تیغه‌های بادگیر

شکل ۸ بردار سرعت در مخزن خشک کن با تیغ‌های بادگیر را نشان می‌دهد. برخلاف شرایط اولیه، جریان هوای ورودی پس از برخورد با تیغه‌های بادگیر، بر روی سطح سینی‌ها هدایت شده و باعث می‌شود در سطح رویه سینی‌ها سرعت بالاتری نسبت به حالت بدون تیغه وجود داشته باشد. این تغییر در الگوی جریان هوا باعث افزایش سرعت تبخیر می‌شود [۱۸]. در ناحیه خروجی مخزن، الگوی جریان هوا کاملاً توسعه یافته است.



شکل ۸: بردار سرعت در مخزن در شرایط به کارگیری تیغه‌های بادگیر

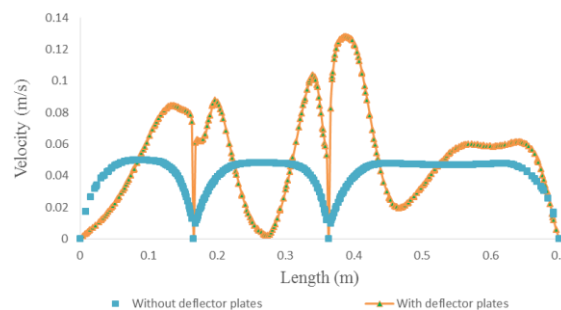
بردار تغییرات دما در مخزن خشک کن در شکل ۹ نشان داده شده است. کاملاً واضح است که برخلاف شرایط اولیه (عدم کاربرد تیغه)، توده‌ی هوای گرم ورودی پس از برخورد با تیغه‌های هدایت کننده طی گردابه‌های آشفته جریان از سطح رویه سینی‌های محصول عبور داده می‌شود. این عمل باعث جلوگیری از خروج زودهنگام هوای گرم و افزایش سرعت تبخیر محصول خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که در ناحیه‌ی خروجی، دمای هوا کمتر از حالتی است که هیچ تیغه بادگیری در مخزن استفاده نشده است [۵].



شکل ۹: بردار دما در مخزن خشک کن در شرایط کاربرد تیغه‌های بادگیر

بررسی تغییرات سرعت در حالت بدون تیغه و با تیغه

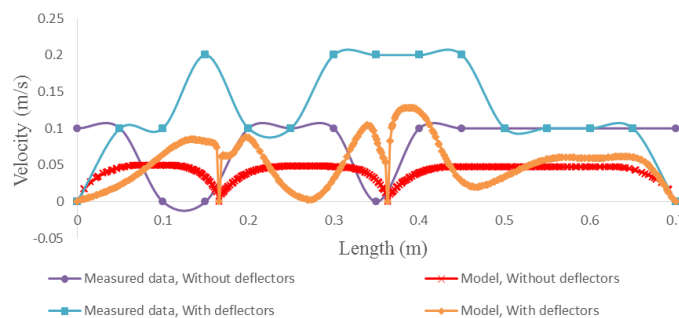
تغییرات سرعت جریان در مقطع عرضی ناحیه استقرار سینی‌ها از سقف تا کف مخزن (شکل ۳، خط ۱) در دو حالت عدم کاربرد تیغه‌های هدایت‌کننده جریان و به کارگیری آن‌ها در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت بدون تیغه، نمودار سرعت به صورت یک خط مستقیم می‌باشد زیرا مانعی در مقابل جریان قرار ندارد ولی در شرایط کاربرد تیغه‌ها، نوسانات سرعت زیاد شده و باعث می‌گردد که متوسط اندازه سرعت هوا در سطح رویه سینی‌ها افزایش یابد [۷]. نقاط سرعت صفر مربوط به سقف، سطح توری‌های دو سینی و کف مخزن به‌عنوان مرزهای دیوار خارجی و داخلی است که جریان بر روی آن‌ها کاملاً راکد می‌باشد.



شکل ۱۰: تغییرات سرعت در مقطع عرضی استقراری سینی‌های محصول در شرایط کاربرد و عدم کاربرد تیغه در مخزن

راستی آزمایی نتایج حاصل از شبیه‌سازی

شکل ۱۱ راستی آزمایی سرعت هوا در شرایط کاربرد تیغه‌ها و عدم استفاده از آن‌ها در مقطع عرضی محدوده استقرار سینی‌ها در مخزن خشک‌کن (شکل ۳، خط ۱) را نشان می‌دهد. نتایج عددی و آزمایش هر دو نشانگر افزایش اندازه سرعت در سطح رویه سینی‌های محصول می‌باشد. روند تغییرات سرعت در مدل عددی و داده‌های اندازه‌گیری شده مشابه یکدیگر می‌باشد. اختلاف بین داده‌های عددی و تجربی به دلیل تغییر شکل‌های ناچیز هندسه دستگاه و سینی‌های موجود و محدودیت دقت اندازه‌گیری سرعت هوا (۰/۱ درجه سلسیوس) با استفاده از سیم داغ بود.



شکل ۱۱: راستی آزمایی سرعت در ناحیه استقرار سینی‌ها و در شرایط کاربرد تیغه‌های بادگیر و عدم کاربرد آن‌ها



نتیجه گیری

به کارگیری تمهیدات لازم در استفاده بهینه از انرژی حرارتی حاصل از جریان هوای گرم در خشک کن تأثیر بسزایی در افزایش کارایی خشک کن و کاهش زمان خشک شدن دارد. یکی از راه کارهای مناسب برای رسیدن به این هدف، ایجاد اغتشاش در جریان هوای گرم عبوری با نصب تیغه‌های هدایت کننده جریان در مخزن خشک کن می‌باشد. برای رسیدن به بهترین حالت نصب تیغه‌ها در جداره مخزن، ابتدا جریان هوا در مخزن خشک کن با استفاده از روش دینامیک سیال محاسباتی شبیه‌سازی گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان دهنده افزایش سرعت جریان هوا در سطح رویه سینی‌ها و توزیع دمای یکنواخت در محدوده استقرار محصول در شرایط به کارگیری تیغه‌های بادگیر است. همچنین نتایج نشان دهنده کاهش دمای هوای خروجی از مخزن در طی کاربرد این تیغه‌ها در مخزن می‌باشد. این روند نمایانگر اثربخشی تیغه‌ها در کاهش تلفات حرارتی هوای عبوری از مخزن و استفاده بهینه از آن می‌باشد. چراکه تیغه‌ها فرصت لازم برای انتقال دمای هوای عبوری به محصول را فراهم آورده‌اند. نتایج راست آزمایی حاکی از تغییر روند الگوی جریان و دما در خشک کن هستند. نتایج آزمون خشک کردن محصول نشانگر کاهش ۲۳ درصدی زمان خشک شدن در سینی بالا در شرایط کاربرد تیغه‌های بادگیر نسبت به عدم کاربرد تیغه و کاهش ۲۱ درصدی در سینی پایین می‌باشد. به علت تمایل حرکت هوای گرم به سمت بالا، زمان خشک شدن در سینی بالا ۷ تا ۹ درصد کمتر از سینی پایین است.

مراجع

- ۱- داداش زاده، م.، زمردیان، ع. و مرتضی پور، ح. ۱۳۹۱. مدل سازی ریاضی فرایند خشک کردن زرد آلو در خشک کن خورشیدی با جریان اجباری در دو حالت مختلط و غیر مستقیم. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه شیراز.
- ۲- روستاپور، ا. ر.، افسری، ا. و جهانگیر، ی. ۱۳۹۴. تأثیر بازگشت جریان هوا در خشک کن خورشیدی بر انرژی مصرفی خشک کردن و راندمان. مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۶، شماره ۱، ص ۳۸-۳۱.
- ۳- روستاپور، ا. ر.، تهور، ا. ر.، افسری، ا. و سیاری، ا. ر. ۱۳۹۲. مدل سازی عددی جریان در خشک کن پاششی دو جداره نیمه صنعتی و تعیین الگوی انتقال حرارت در دیواره به روش دینامیک سیال محاسباتی. تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۱۴، شماره ۱، ص ۸۹-۱۰۶.
- ۴- روستاپور، ا. ر.، عظیمی، ا. و گازر، ح. ر. ۱۳۹۸. مدل سازی دینامیک سیال در یک خشک کن جریان متقاطع شلتوک با دو ورودی بهینه هوای کنار گذر و میان گذر. مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۰، شماره ۱، ص ۱۲۸-۱۱۵.
- ۵- کاظمی، ف. ۱۳۹۴. مدل سازی عددی جریان سیال در خشک کن کابینتی و بررسی تأثیر کاربرد تیغه‌های هدایت کننده هوا در مخزن خشک کن بر الگوی جریان و روند خشک شدن محصول. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافق یزد.
- ۶- گازر، ح. ر.، روستاپور، ا. ر. و جهانیان، ر. ۱۳۹۸. شبیه سازی عددی شرایط عبور هوا در دو الگوی ورود هوای رایج و هشتی شکل در خشک کن شلتوک. نشریه ماشین های کشاورزی، جلد ۹، شماره ۱، ص ۵۹-۴۹.
- ۷- مظفری، ک. ۱۳۹۲. مدل سازی عددی جریان هوا در مخزن یک خشک کن خورشیدی فعال به منظور بهینه سازی جریان با به کارگیری المان های جهت دهنده جریان هوا در مخزن خشک کن. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز.



- 8- Amanlou, Y. and Zomorodian, A. 2010. Applying CFD for designing a new fruit cabinet dryer. *Journal of Food Engineering*. 101: 8- 15.
- 9- Cakmak, G. and Yildiz, C. 2012. Design of a new solar dryer system with swirling flow for drying seeded grape. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 36: 984-990.
- 10- Fosberg, J. 2011. Geometry development of the internal duct system of a heat pump tumble dryer based on fluid mechanic parameters from a CFD software. *Applied Energy*. 1956-1605.
- 11- Huang, L., Kumar, K. and Mujumdar, A. S. 2003. A parametric study of the gas flow patterns and drying performance of co-current spray dryer: results of a computational fluid dynamics study. *Drying Technology*. 21 (6): 957-978.
- 12- Kieviet, F.G. 1997. Modeling quality in spray drying. Thesis's of the Report. Eindhoven University of Technology. The Netherlands.
- 13- Langrish, T.A.G., Williams, J., and Fletcher, D.F. 2004. Simulation of the effects of inlet swirl on gas flow patterns in a pilot-scale spray dryer. *Chemical Engineering Research and Design*. 82 (7): 821 -833.
- 14- Mezhericher, M., Levy, A. and Borde, I. 2009. Modeling of droplet drying in spray chambers using 2D and 3D computational fluid dynamics. *Drying Technology*. 27: 359-370.
- 15- Mirade, P.S. 2006. Prediction of the air velocity field in modern meat dryers using unsteady computational fluid dynamics (CFD) models. *Journal of Food Engineering*. 60: 41-48.
- 16- Oakley, D.E. and Bahu, R.E. 1993. Computational modeling of spray dryers. *Computational Chemical Engineering*. 17 (1): 493- 498.
- 17- Rigit A. Low P. 2010. Heat and mass transfer in a solar dryer with biomass backup burner. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 38: 105- 108.
- 18- Roustapour, O.R., Mozaffari, K. and Tahhavor, A.R. 2014. Optimization of energy consumption in a solar dryer by numerical modeling of flow in the chamber with air deflectors. *Journal of Agricultural Machinery Science*. 10 (1): 43- 47.
- 19- Southwell, D.B., Langrish, T.A.G. and Fletcher, D.F. 1999. Process intensification in spray dryers by turbulence enhancement. *Chemical Engineering Research and Design*. 77 (3): 189-205.
- 20- Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Longman Malaysia, TCP. pp. 135-154.
- 21- Woo, M.W., Rogers, S., Lin, S.X.Q., Selomulya, C. and Chen, X.D. 2011. Numerical probing of a low velocity concurrent pilot scale spray drying tower for mono-disperse particle production- unusual characteristics and possible improvements. *Chemical Engineering Processing*. 50 (4): 417- 427.



Numerical modeling of air deflector plates for air flow modification in cabinet dryer

Omid Reza Roustapour^{*1}, Hamid Reza Gazor² and Farzin Kazemi³

1. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (o.roostapour@areo.ir)
2. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (hgazor@yahoo.com)
3. Graduated students of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Bafgh Branch (farzin.s2000@gmail.com)

Abstract

In order to increase air elapsed time in the chamber of a cabinet dryer and optimization of using air heat energy to dry products, initially, numerical modeling of fluid flow in the chamber was carried out using computational fluid dynamics techniques. Two-dimensional geometry of the chamber was created and meshed by Gambit software. Then the grid was exported to Fluent software in order to define boundary conditions and solve the governing equations. Deflector plates were defined on the chamber wall and simulated to access the best air flow pattern. Results of air flow modeling without employing any deflector illustrated air passed through the chamber and vent out continually. By using the deflectors, air elapsed time and heat and mass transfer were increased. The modeling results showed, the velocity magnitude was increased on the product trays and temperature variation was continues when deflectors were defined in the chamber.

Keywords: Cabinet Dryer, Computational fluid dynamics, Air deflector plates, Air flow pattern

*Corresponding author

E-mail: o.roostapour@areo.ir