نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، ص: ۸۳-۹۸

J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 2, 2022: 83-98

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8

بهبود انتقال حرارت داخل خشک‌کن خورشیدی برای خشک‌کردن نعناع با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

محمد باقر حیدری ورنامخواستی[۱]، حسن غفوری ورزنه [۲*]

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. **Bagherheidari1600@gmail.com**
*۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. **hasangh28@gmail.com**
h.ghafori@iaumajlesi.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۳، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۶، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۳۰

چکیده

بهره‌گیری از خشک‌کن‌های خورشیدی در مناطقی که دارای شدت تابش خورشیدی بالایی هستند، یک روش مقرون به صرفه برای خشک-کردن مواد غذایی می‌باشد. پارامترهای عملکردی خشک‌کردن به عواملی مانند هندسه خشک کن، ماده خشک کردنی و اقلیم منطقه بستگی دارد. لذا هدف، شبیه‌سازی جریان سیال و انتقال حرارت در خشک‌کن خورشیدی برای خشک کردن گیاه نعناع در منطقه کرمان می‌باشد که با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی(CFD) انجام شد. در این تحقیق با افزودن فن تهویه در بالای محفظه خشک کن، دمای خشک‌کن در خلال فصول گرم سال کنترل و بهبود یافت. جنس و مواد استفاده شده در ساخت خشک‌کن بصورت واقعی مدل شد تا نتایج حاصل از آن به واقعیت نزدیک باشد. اعتبارسنجی نتایج به دست‌آمده از روش شبیه‌سازی عددی با داده‌های ارایه شده به صورت تجربی در مقاله‌های دیگر نشان داد که با استفاده از روش دینامکی سیالات محاسباتی با دقت بالایی می‌توان رفتار خشک‌کن‌های واقعی را شبیه‌سازی کرد. مزیتی که استفاده از روش شبیه‌سازی نسبت به ساخت نمونه آزمایشگاهی دارد این است که در این روش امکان مشاهده الگوی جریان هوا در بخش داخلی و بیرونی خشک‌کن، ارزیابی الگوی تغییرات دمایی و همچنین مقدار تابش دریافتی توسط خشک‌کن برای یک روز کامل و تعمیم آن برای یک سال با صرف زمان و هزینه بسیار پایین‌تر وجود دارد. با توجه به این‌که می‌توان عملکرد سیستم را برای یک سال پیش بینی نمود در نتیجه می‌توان دوره‌های زمانی مناسب و یا نامناسب از این دستگاه برای خشک‌کردن نعناع را مشخص نمود. همچنین در این پژوهش مشخص شد که با نصب کردن فن برای مکش جریان‌های هوای خشک‌کن می‌توان عملکرد خشک‌کردن نعناع را بهبود بخشید و انتقال حرارت در خشک‌کن را به‌خصوص در ماه‌های گرم سال بهبود داد. همچنین نشان داده شده با استفاده از فن‌های نصب شده می‌توان دمای هوای خشک‌کن را تا ۱۸ درجه کلوین کاهش داد و در نتیجه به نمونه خشک‌شده مطلوب‌تری دست یافت.

* **عهده‌دار مکاتبات:** h.ghafori@iaumajlesi.ac.ir

کلمات کلیدی: خشک‌کن خورشیدی، دینامیک سیالات محاسباتی، انتقال حرارت جابجایی اجباری، نعناع.

۱- مقدمه

خشک‌کردن مواد غذایی به‌خصوص در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری که شغل اغلب مردم کشاورزی است، با هدف سهولت در انبارداری، حمل و نقل ساده تر، افزایش مدت عمر مواد غذایی و امکان صادرات آن انجام می‌شود [1]. با توجه به

نحوه استناد به این مقاله: محمد باقر حیدری ورنامخواستی، حسن غفوری ورزنه. بهبود انتقال حرارت داخل خشک‌کن خورشیدی برای خشک‌کردن نعناع با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۲) : ۸۳-۹۸ DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

این که مولکول‌های آب موجود در بافت مواد غذایی می‌تواند در واکنش‌های شیمیایی فساد مواد غذایی شرکت کند، لذا با حذف این آب می‌توان مانع از فساد آنها شد [2]. رطوبت که در بافت یا در ساختار جامد مواد غذایی وجود دارد و نسبت به مایع خالص فشار کمتری ایجاد می‌کند، رطوبت مرزی نامیده می‌شود [3]. رطوبتی که از رطوبت مرزی بیشتر باشد، رطوبت غیرمرزی نامیده می‌شود [4]. با توجه به این‌که فرآیند خشک‌کردن مواد غذایی نیاز به صرف انرژی بالایی دارد و با توجه به بالا بودن هزینه‌های سوخت‌های فسیلی و همچنین مشکلات تولید آلاینده‌های زیست محیطی، استفاده از سوخت‌های فسیلی برای خشک‌کردن مواد غذایی توصیه نمی‌شود [5]. در مقابل با توجه به دردسترس بودن و ارزان بودن انرژی خورشیدی و نداشتن خطر برای محیط زیست، استفاده از انرژی خورشیدی برای خشک‌کردن مواد غذایی یک روش مطلوب محسوب می‌شود [6]. هر چند از دیرباز خشک‌کردن مواد غذایی در زیر تابش خورشید متداول بوده است اما خشک‌کن‌های خورشیدی یک روش مدرن برای خشک‌کردن مواد غذایی محسوب می‌شوند که معایب روش‌های سنتی نظیر پایین بودن بهره‌وری، امکان آلودگی مواد غذایی، پایین بودن کیفیت محصولات غذایی خشک‌شده به روش سنتی و غیره را ندارند [7-10]. استفاده از خشک‌کن-های خورشیدی در طول ماه‌های گرم سال در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری نظیر شهر کرمان در کشور ایران، می‌توان منجر به بالارفتن بیش از حد دمای محفظه خشک‌کن خورشیدی و در نتیجه از بین رفتن ارزش غذایی ماده خشک‌شونده گردد [11]. به طور کلی خشک‌کن‌های خورشیدی را می‌توان به دو دسته مستقیم و غیره مستقیم دسته بندی کرد [13,12]. در خشک‌کن‌های خورشیدی مستقیم اغلب نمونه مورد بررسی به صورت مستقیم در معرض تابش خورشیدی قرار می‌گیرد و خشک می‌شود. در این روش به منظور پیش‌گیری از آلوده شدن نمونه، از محفظه‌های شیشه‌ای در این حالت استفاده می‌شود. اما در خشک‌کن‌های خورشیدی غیرمستقیم از تابش خورشیدی برای گرم کردن هوا بهره گرفته می‌شود و از هوای گرم‌شده نیز برای خشک‌کردن مواد غذایی استفاده می‌شود [14]. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی غیرمستقیم نسبت به سایر خشک‌کن‌ها از مزیت‌هایی برخوردار است، زیرا ماده غذایی از آلودگی در امان می‌ماند و در اثر فعل و انفعالات شیمیایی ارزش غذایی آن از بین نمی‌رود [15]. به طور کلی برای خشک‌کردن محصولات غذایی دو پارامتر دما و گردش هوا بسیار مهم است [16]. دما یکی از پارامترهای مهم می‌باشد که سرعت و رطوبت هوا تابعی از آن هستند. با افزایش دما اولا توانایی هوا برای نگه داشتن رطوبت بیشتر می‌شود و ثانیا دمای محصول افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه فشار بخار نیز زیاد می‌شود و رطوبت با سرعت بیشتری از سطح نمونه خارج می‌شود [17-20]. با توجه به این که نیرو محرکه اصلی برای خشک‌کردن مواد غذایی اختلاف فشار بین بخار آب موجود در سطح نمونه با فشار بخار هوا می‌باشد، لذا می‌توان گفت که نقش دما در خشک‌کن‌ها بسیار مهم است [21]. از طرف دیگر با افزایش سرعت هوا در خشک‌کن‌های خورشیدی در مقایسه با خشک‌کن‌ها جریان طبیعی، سرعت خشک‌کردن می‌تواند از ۱۴/۸۹٪ تا ۳۷/۶۶٪ بهبود یابد [22-25]. هر چند پژوهش‌های مختلف تاکید دارند که سرعت گردش هوا در مورد غلات، فاکتور بسیار تاثیرگذرا است و در مورد سبزیجات و میوه‌ها تاثیرگذاری آن کمتر است [26-29]. در خشک‌کن‌ها، هوا به عنوان سیال عامل رطوبت و دما را منتقل می-کند. پارامترهای مختلفی مانند سرعت فن، قطر دریچه فن، مساحت ورودی هوا، دمای هوای بیرونی خشک‌کن و رطوبت هوای ورودی به خشک‌کن می‌تواند بر روی الگوی جریان هوا و انتقال حرارت در خشک‌کن اثر بگذارد [30-32]. گولر و همکاران [33] به بررسی تجربی و عددی عملکرد خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم با استفاده از صفحات مشبک فلزی ارزان قیمت پرداختند. آنها در پژوهش خود یک خشک‌کن خورشیدی دو گذره معمولی و یک خشک‌کن خورشدی دو گذره مجهز به صفحه مشبک جاذب را به صورت تجربی و با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، مدل‌سازی کردند. هدف اصلی آن بهبود بازدهی خشک‌کن خورشیدی دو گذره عنوان شده است. آنها نشان دادند در صورت استفاده از صفحه جاذب مشبک می‌توان بازدهی خشک‌کن خورشیدی را تا ۲۳/۰۸٪ بهبود بخشید. بن حمزا و همکاران [34] به تجزیه و تحلیل خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم با استفاده از روش پردازش تصویر و دینامیک سیالات محاسباتی پرداختند. هدف اصلی آنها توزیع یکنواخت دمای داخل محفظه خشک‌کن با هدف بالا بردن سطح کیفیت محصول خشک‌شده و عملکرد دستگاه خشک‌کن خورشیدی بوده است. آنها تاثیر افزودن دودکش خورشیدی غیرفعال را برای سه نرخ جریان مختلف بر روی فرآیند خشک‌کردن و توزیع دما به

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

کمک نرم افزار انسیس فلوئنت مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نشان دادند که در صورت استفاده از دودکش خورشیدی می‌توان دمای متوسط محفظه را ۸ تا ۱۶ درجه کلوین افزایش داد. دمیسی و همکاران [35] به بررسی و توسعه مدل عددی بر اساس دینامیک سیالات محاسباتی برای مدل‌سازی خشک‌کن خورشیدی غیرمستیم پرداختند. آنها در مدل خود از دودکش خورشیدی و یک فن که با انرژی خورشیدی کار می‌کرد استفاده کردند. آنها از روش دینامیک سیالات محاسباتی برای مدل-سازی سه بعدی و گذرای میدان جریان و دما در داخل محفظه خشک‌کن استفاده کردند. آنها نشان دادند که بیشینه اختلاف دما بین مدل‌سازی عددی و مقادیر اندازه گیری شده ۴/۳ درجه سانتی‌گراد است که نشان دهنده دقت مدل‌سازی با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد. چاتوف و همکاران [36] با استفاده از روش CFD به بهینه‌سازی محفظه‌خشک‌کن خورشیدی غیرمستقیم پرداختند. هدف اصلی آنها بهبود عملکرد خشک‌کن و کاهش زمان خشک‌کردن با استفاده از بهینه-سازی هندسه محفظه خشک‌کن عنوان شده است. آنها برای این منظور از نرم افزار انسیس فلوئنت استفاده کردند.

در این پژوهش هدف اصلی مدل‌سازی رفتار خشک‌کن خورشیدی در طی ماه‌های گرم سال با استفاده از ابزار دینامیک سیالات محاسباتی و ارائه روش‌هایی برای پیش‌گیری از گرمایش بیش از حد محفظه خشک‌کن با استفاده از فن تهویه می‌باشد که علی‌رغم نگه داشتن دمای محفظه در مقدار مطلوب به دلیل افزایش سرعت جریان هوای خشک‌کن، زمان لازم برای خشک کردن را نیز کاهش می‌دهد. برای این منظور تلاش شده است که با استفاده از ابزار مدل سازی ریاضی جریان سیال و انتقال حرارت، پدیده موجود در خشک کن مشاهده و سپس نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردد و پس از حصول اطمینان از دقت قابل قبول نتایج شبیه سازی، با افزودن فن تهویه به داخل محفظه، دمای خشک کن را در خلال فصول گرم سال کنترل و بهبود بخشید.

۲-هندسه مسئله

مطابق شکل ۱ خشک‌کن دارای طول ۱/۶متر ، عرض ۰/۸۵متر و ارتفاع ۲ متر است. بنای اصلی از چوب ساخته‌شده و پوشش خشک کن از فوم به ضخامت ۰/۰۱متر است. محفظه خشک‌کن دارای دو قطعه ذوزنقه‌ای به ابعاد ۵۰×۵۰×۹۰ سانتی‌متر و شیب ۴۵ درجه است. داخل محفظه یک سینی برای نگهداری محصول به ابعاد ۴۸×۸۴ سانتی‌متر و از جنس امدی‌اف قرار دارد. واحد تهویه آن شامل یک هواکش مخروطی شکل از جنس گالوانیزه است که قطر دهانه پایین آن ۲۵ سانتی‌متر است ودر بالای محفظه قرارگرفته است و قطر بخش خروجی هوا هم ۱۵ سانتی‌متر است. از دیگر بخش‌های خشک‌کن جمع‌کننده است که از شاسی، صفحه جاذب، پوشش جمع کننده و عایق درست شده است. ابعاد جمع کننده ۱۹۰×۹۰ سانتی‌متر است و دماغه جمع‌کننده که جهت کنترل جریان هوا در حالت‌های هوا باز و برای جلوگیری از خروج هوا در حالت هوا بسته است، در بخش پایین جمع‌کننده نصب شده است. به طور کلی این قسمت دارای یک ورودی هوا به قطر ۱۵ سانتی‌متر و خروجی آن بر ورودی جمع کننده قرار دارد که طول آن ۹۱ سانتی‌متر است. همچنین شکل این بخش ذوزنقه‌ای بدون زاویه می‌باشد که طول کلی آن ۱۱۲ سانتی‌متر و کناره‌های آن در قسمت ورودی ۲۸ سانتی‌متر و بخش دیگر ۱۹ سانتی‌متر است. دماغه از ورق گالوانیزه ساخته شده است.

۳- معادلات حاکم

بررسی پدیده انتقال حرارت در خشک‌کن منجر به تعیین مشخصه‌های فیزیکی آن مانند سرعت هوا، دمای هوا، دمای اجزای داخلی خشک‌کن و فشار هوا می‌شود. پدیده انتقال حرارت در خشک‌کن خورشیدی با سه مکانیزم اصلی هدایت حرارتی، جابجایی و تشعشع انجام می‌شود. برای محاسبه دما از رابطه زیر استفاده می‌شود [۳۸]:

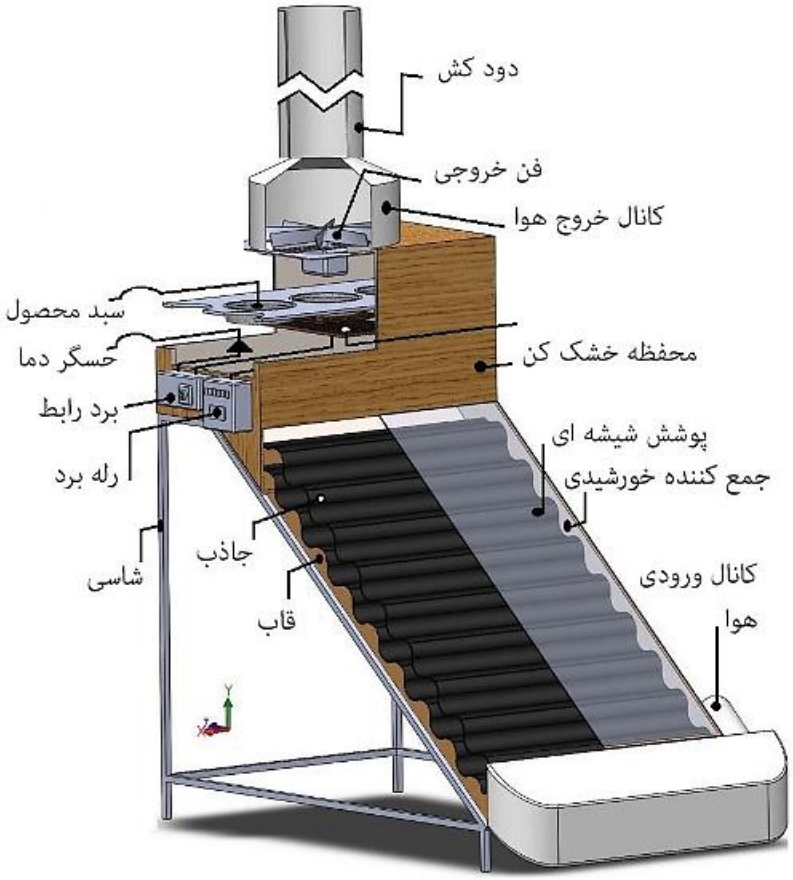
$$\rho C_p u \nabla T + \nabla . q = Q \quad (۱)$$

گرادیان برای یک فضای سه بعدی به صورت زیر نوشته می‌شود [۳۸]:

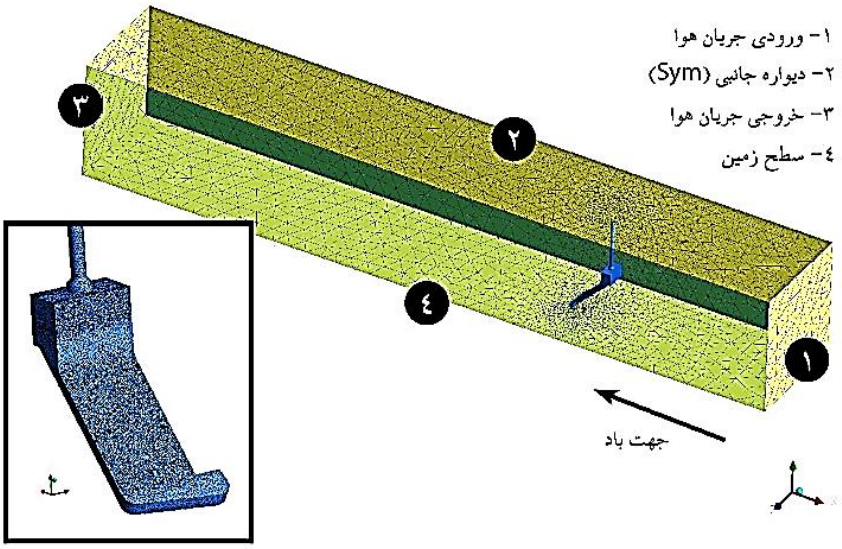
$$\nabla A = \frac{\Delta A}{\Delta x} x + \frac{\Delta A}{\Delta y} y + \frac{\Delta A}{\Delta z} z \quad (۲)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]



شکل ۱. نمای شماتیک خشک‌کن خورشیدی مورد مطالعه.



شکل ۲. شبکه‌بندی مدل در فضای محاسباتی.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

همچنین در رابطه فوق ρ بیانگر چگالی، C_p ظرفیت حرارتی ویژه، T دما، u بردار سرعت، q شار گرمایی هدایتی، k ضریب هدایت حرارتی و Q منبع گرمایی است.

قطر هیدرولیکی محفظه به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳۸]:

$$D_H = \frac{4A_c}{P} = \frac{2(LH)}{L+H} \quad (۳)$$

در رابطه فوق $A_c = wh$ بیانگر سطح مقطع جریان، $P = 2(W+H)$ محیط محفظه و W و H به ترتیب ارتفاع و عرض محفظه خشک‌کن می‌باشند. همچنین عدد ناسلت را نیز می‌توان با استفاده از رابطه جنیلینکی برای محدوده اعداد رینولدز ۳۰۰۰ تا 5×10^6، عدد پرانتل ۰٫۵ تا ۲۰۰۰ به صورت زیر محاسبه کرد [۳۸]:

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{g}\right)(Re^{-1000})Pr}{1+1.27\left(\frac{f}{g}\right)^{0.5}\left(Pr^{\frac{2}{3}}-1\right)} \quad (۴)$$

در رابطه فوق f بیانگر ضریب اصطکاک می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳۸]:

$$f = \frac{-\left(\frac{dp}{dx}\right)}{\frac{\rho u_m^2}{2}} \quad (۵)$$

مقدار تابش از سطح به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳۸]:

$$J = \rho G + \varepsilon\sigma T^4 \quad (۶)$$

که در رابطه فوق ρ بیانگر بازتابش از سطح، G گرمای درونی که سطح دریافت می‌کند، ε ضریب انتشار سطح، σ ثابت استفان بولتزمن، T دمای محیط و J گرمای تابشی خارج شده است.

در اغلب سیال‌های با هدف همگرایی سریع تر در انتقال حرارت جابجایی اجباری، از مدل شناوری استفاده می‌شود که در آن‌ها چگالی به صورت تابع دما تعریف می‌شود. مدل شناوری استفاده شده به صورت زیر می‌باشد و به عنوان یک مقدار ثابت در همه معادله‌های در نظر گرفته می‌شود [۳۹]:

$$\rho = \rho_r[1-\beta(T-T_r)] \quad (۷)$$

در رابطه فوق β ضریب انبساط حرارتی می‌باشد.

برای محاسبه اثر گرمای تابشی از معادله انتقال تابش[1](RTE) استفاده می‌شود که به صورت زیر می‌باشد [۳۹]:

$$\nabla.(I_\lambda(\vec{r},\vec{s})\vec{s}) + (a_\lambda+\sigma_s)I_\lambda(\vec{r},\vec{s}) = a_\lambda n^2 I_{b\lambda} + \frac{\sigma_s}{4\pi}\int_0^{4\pi} I_\lambda(\vec{r},\vec{s})'\emptyset(\vec{s},\vec{s})'d\Omega' \quad (۸)$$

در پژوهش حاضر برای حل معادله (RTE) از روش DO[2] استفاده شد. همچنین برای مدل‌سازی اغتشاش از مدل $k-\varepsilon$ استفاده شد.

معادله پیوستگی به صورت زیر نوشته می‌شود [۳۹]:

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \nabla(\rho\vec{v}) = 0 \quad (۹)$$

معادله مومنتوم به صورت زیر نوشته می‌شود [۳۹]:

[1] Radiation transfer equation
[2] Discrete Ordinates

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \nabla.(\rho\vec{v}\vec{v}) = -\nabla p + \nabla\bar{\tau} + \rho\vec{g} + S_m \quad (۱۰)$$

معادله انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود [۳۹]:

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla.\left(\vec{v}(\rho E + P)\right) = \nabla.(-\vec{q} + \bar{\tau}.\vec{v}) + S_h \quad (۱۱)$$

در رابطه فوق S_h منبع تولید گرما و E انرژی کل است.

۴- حل عددی

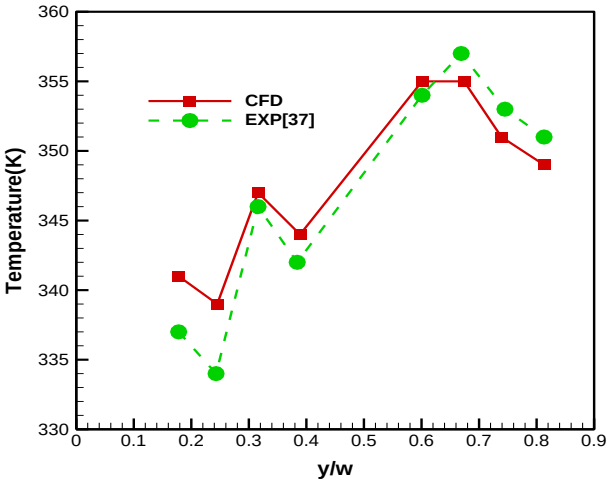
در این پژوهش برای رسم هندسه و مش‌بندی از محیط ورک‌بنچ نرم افزار انسیس فلوئنت استفاده شده است. انسیس فلوئنت یک نرم‌افزار مهندسی به کمک رایانه در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی برای مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده می‌باشد. این نرم‌افزار امکان تغییر شبکه به صورت کامل و تحلیل جریان با شبکه‌های غیر-ساختاریافته برای هندسه‌های پیچیده را فراهم می‌آورد. نوع مش‌های قابل تولید و دریافت توسط این گروه نرم‌افزاری شامل شبکه‌هایی با المان‌های مثلثی و چهارضلعی (برای هندسه های دوبعدی و چهار وجهی، هرمی یا گوه‌ای برای هندسه‌های سه‌بعدی) می باشد. همچنین فلوئنت به کاربر اجازه بهبود شبکه (مثلا ریز کردن یا درشت کردن شبکه در مرزها و مکان های لازم در هندسه) را می‌دهد. این بهینه‌سازی برای حل و شبکه، قابلیتی در اختیار کاربر قرار می‌دهد که نتایج را در ناحیه‌هایی که دارای گردابه‌های بزرگ (مانند لایه مرزی و غیره) می‌باشند را دقیق تر سازد. این قابلیت‌ها مدت زمانی را که برای تولید یک شبکه خوب احتیاج می‌باشد در مقایسه با حل در شبکه‌های ساختار یافته به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. این نرم‌افزار با زبان برنامه-نویسی سی نوشته شده است و از تمامی توان و قابلیت انعطاف این زبان بهره می‌برد. در نتیجه این نرم افزار با استفاده از حافظه دینامیک، ساختار مناسب داده‌ها و اطلاعات و کنترل انعطاف‌پذیر محاسبات را ممکن می‌سازد. تشریح مسئله به این صورت است که پس از اینکه تابش خورشید از پوشش شیشه‌ای عبور کرد از طریق جاذب که در این خشک کن ورقه آلومینیوم سیاه اندود شده است جذب می‌شود. بخشی از این تابش خورشیدی توسط جاذب جذب می‌گردد و بخشی از آن به صفحه شیشه‌ای منعکس می‌شود. بقیه این تابش از طریق همرفت صرف گرم کردن هوای اطراف جاذب و اجزای داخلی خشک‌کن می-شود. بنابراین جاذب تابش خورشیدی را به گرما تبدیل می‌کند. بین پوشش شیشه‌ای و اجزای خارجی خشک‌کن نیز همرفت ایجاد می‌شود و در واقع بخشی از تابش خورشید به جو برگشت داده می‌شود و باز تابش که در زیر خشک کن اتفاق می افتد به زمین بر می‌گردد. انتقال حرارت بین اجزای دیگر خشک‌کن از طریق هدایت گرمایی صورت می‌گیرد. روش‌های مش‌بندی متنوعی وجود دارد، همانطور که گفته شد در این پژوهش برای مش‌بندی از نرم افزار انسیس فلوئنت استفاده شد. برای قسمت‌های مختلف محیط شبیه‌سازی، تراکم‌های متنوعی جهت دستیابی به نتایج قابل قبول بکار گرفته خواهد شد. شکل مش‌ها با توجه به منابع مشابه که به شبیه‌سازی خشک کن پرداخته اند انتخاب می شود. برای کاهش زمان محاسبات شبیه‌سازی می‌توان تعداد مش-ها را در قسمت‌هایی که اهمیت زیادی در تعداد مش وجود ندارند کاهش داد. در قسمت‌هایی از خشک-کن که ابزارهایی با ابعاد کوچک استفاده شده اند، برای تحلیل بهتر مسئله می‌توان قسمت مورد نظر را جدا و با اندازه کوچکتر مش‌بندی کرد. با توجه به مطالعاتی که در زمینه نوع المان مش‌بندی خشک‌کن‌ها صورت گرفته است المان مثلث چهار وجهی برای این نوع خشک‌کن مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا تعداد المان‌ها در خشک‌کن خورشیدی مورد پژوهش ۵۸۲۴۶۲ و تعداد گره ها ۱۰۱۵۶۸ بود که با اصلاح مش در بعضی قسمت‌ها این تعداد برای المان‌ها به ۸۳۶۱۳۷ و تعداد گره‌ها به ۱۴۳۱۷۱ عدد افزایش یافت.

شرایط مرزی اولیه بر اساس داده‌های هواشناسی برای شهر کرمان اعمال شده است که این داده‌ها از ایستگاه هواشناسی دریافت شده است. متوسط سرعت باد ۱ متر بر ثانیه، متوسط دما ۳۵ درجه سانتی‌گراد و مقدار رطوبت ۴۵٪ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که فن استفاده شده در خشک‌کن از مدل HC-25-2T با سرعت دورانی نامی ۲۷۳۰ دور بر دقیقه و نرخ جریان نامی ۲۲۰۰ متر مکعب بر ساعت می‌باشد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

برای اعتبارسنجی مدل عددی توسعه داده شده، نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی توسعه داده شده در پژوهش حاضر با داده های تجربی گزارش شده توسط پوتجیتر و همکاران [37] مقایسه شده است و نتایج در شکل (۳) آورده شده است.
با توجه به جدول (۱) می‌توان دریافت که مدل عددی توسعه داده شده در پژوهش حاضر از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد. اندک اختلاف مشاهده شده نیز می‌تواند از خطای اندازه‌گیری، تعداد مش‌های استفاده شده، خطای گردکردن و روندکردن در فرآیند مدل‌سازی عددی و غیره ناشی شده باشد.



شکل ۳. اعتبار سنجی مدل عددی توسعه داده شده در پژوهش حاضر

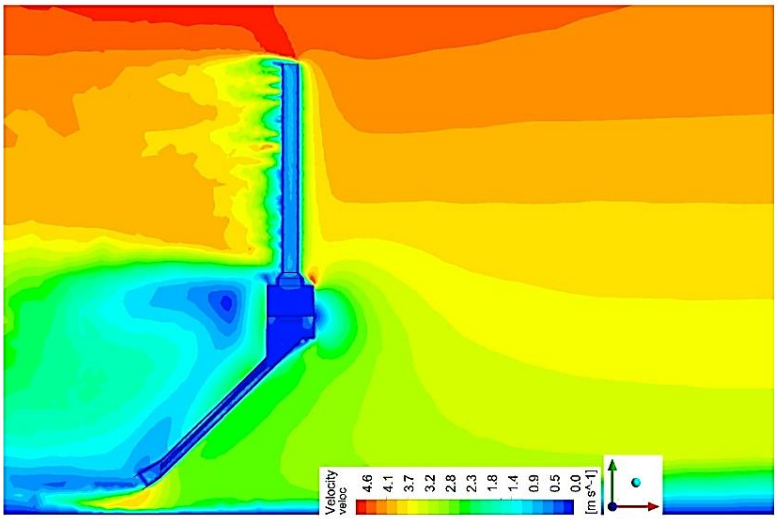
جدول ۱. مقایسه نتایج شبیه سازی دمای داخل خشک‌کن و نتایج داده¬های تجربی [37]

	دمای نقاط مختلف خشک کن (k)							
	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳	نقطه ۴	نقطه ۵	نقطه ۶	نقطه ۷	نقطه ۸
نتایج شبیه سازی	۳۴۱	۳۳۹	۳۴۷	۳۴۴	۳۵۵	۳۵۵	۳۵۰	۳۴۳
نتایج تجربی	۳۳۷	۳۳۳	۳۴۶	۳۴۲	۳۵۴	۳۵۸	۳۵۲	۳۵۰
اختلاف (درصد)	۱/۱	۱/۷	۰/۲	۰/۵	۰/۳	۰/۸	۰/۵	۲

۵- نتایج

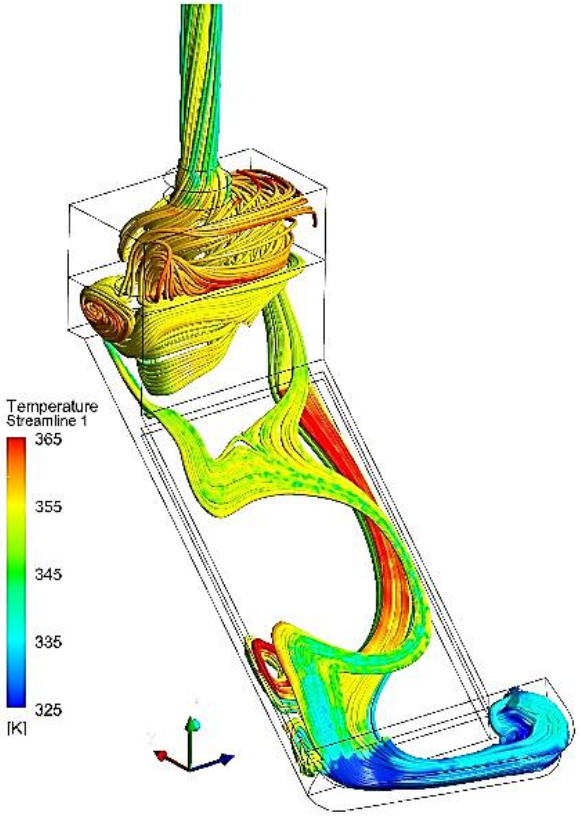
کانتور سرعت در خشک‌کن خورشیدی در شکل (۴) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود سرعت باد با افزایش ارتفاع از سطح زمین بیشتر می‌شود. همچنین در قسمت جلویی خشک‌کن با توجه به اینکه جریان هوا با دیواره خشک‌کن برخورد می‌کند، جریان‌های گردابی شکل می‌گیرند. در صورتی که جهت ورودی هوای خشک‌کن به سمت جریان‌های باد منطقه باشد، می‌توان در خنک شدن محفظه خشک‌کن موثر باشد.
با توجه در شکل (۴) می‌توان دریافت که سرعت هوا در محفظه خشک‌کن همواره در محدوده ۰/۵ تا ۱ متر بر ثانیه است که این سرعت هوای مطلوب برای خشک‌کردن نعناع محسوب می‌شود. به عبارت دیگر طراحی محفظه به گونه‌ای است که حتی وقتی سرعت جریان هوا در خارج از محفظه به ۴/۵ متر بر ثانیه نیز می‌رسد، دمای هوای محفظه در محدوده قابل قبول برای خشک‌کردن نعناع باقی می‌ماند.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]



شکل۴. الگوی جریان هوا در پیرامون خشک‌کن خورشیدی

کانتورهای خطوط جریان و بردار سرعت در داخل خشک‌کن در شکل‌های (۵) و (۶) آورده شده است. در شکل (۵) مشاهده می‌شود که جریان هوا از ورودی خشک‌کن وارد شده و از کلکتور خورشیدی عبور می‌کند و سپس بعد از گرم شدن وارد محفظه خشک‌کن می‌شود. با برخورد کردن هوا با سینی‌های نگهداری محصول، جریان هوا تنها از طریق سوراخ‌های سینی‌های محصول انجام می‌شود. با افزایش سرعت در دودکش، جریان هوا در بخش بالایی از خشک‌کن خارج می‌شود.

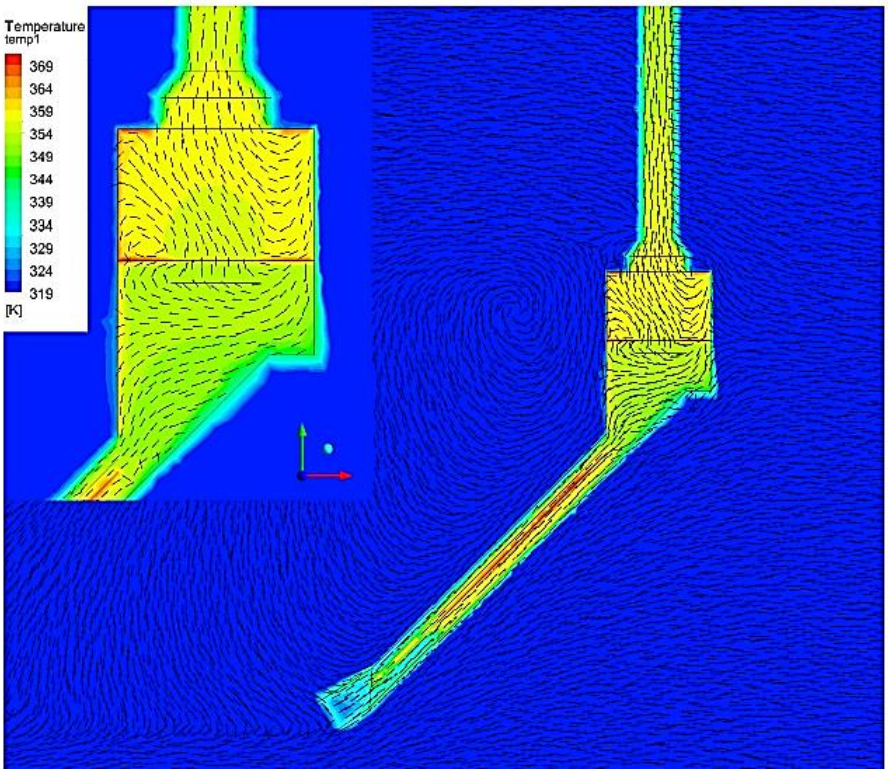


شکل۵. خطوط جریان هوا در خشک‌کن خورشیدی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

با توجه به شکل (۵) می‌توان دریافت که مسیر حرکت جریان هوا و همچنین دمای آن چگونه است. مشاهده می‌شود که بیشینه دمای هوای داخل محفظه ۳۶۵ درجه کلوین و کمینه دمای هوای داخل محفظه در حدود ۳۴۵ درجه کلوین می‌باشد به عبارت دیگر دمای محفظه خشک‌کن کمی بالاتر از محدوده استاندارد برای خشک‌کردن نعناع می‌باشد و از همین رو استفاده از فن توصیه شده است تا دمای داخل محفظه کاهش پیدا کند و در بازه مطلوب برای خشک‌کردن گیاه نعناع قرار بگیرد. همچنین در شکل (۶) تغییرات دما و بردار سرعت برای ظهر خورشیدی در داخل خشک‌کن نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که جریان هوا دارای سرعت تقریبا یکنواختی در محفظه است اما دمای متوسط آن در حدود ۳۶۰ درجه کلوین می باشد که اندکی بالاتر از دمای مطلوب برای خشک‌کردن گیاه نعناع می‌باشد و لذا استفاده از فن برای رفع این مشکل در نظر گرفته شده است.



شکل۶. بردار سرعت و دما برای ظهر خورشیدی

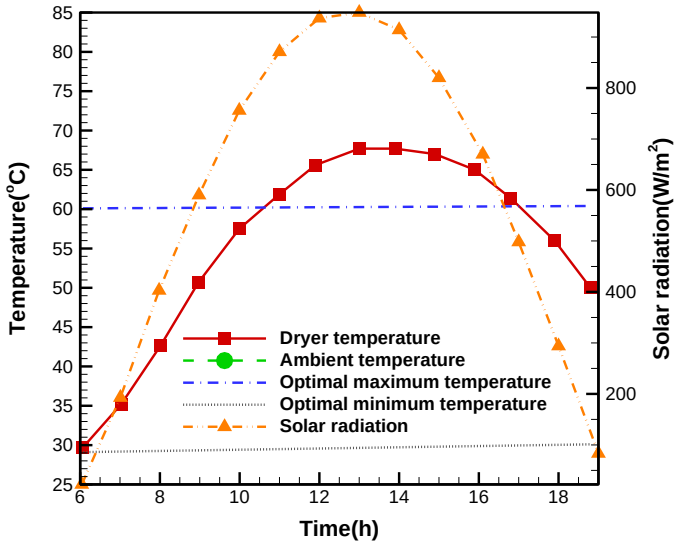
تغییرات دمای خشک‌کن، کلکتور و غیره برای مدت زمان ۱۲ ساعت در تاریخ ۱۵ تیرماه به عنوان گرمترین روز سال در شکل (۷) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که دمای مناسب برای خشک‌کردن گیاهان دارویی نظیر نعناع ۳۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

مشاهده می‌شود که دمای محفظه خشک‌کن حداقل ۱۰ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیش از دمای مطلوب می‌باشد که در ظهر خورشیدی به ۶۵ درجه سانتی گراد می‌رسد که می‌تواند تاثیر نامطلوب بر روی کیفیت محصول خشک‌شده داشته باشد.

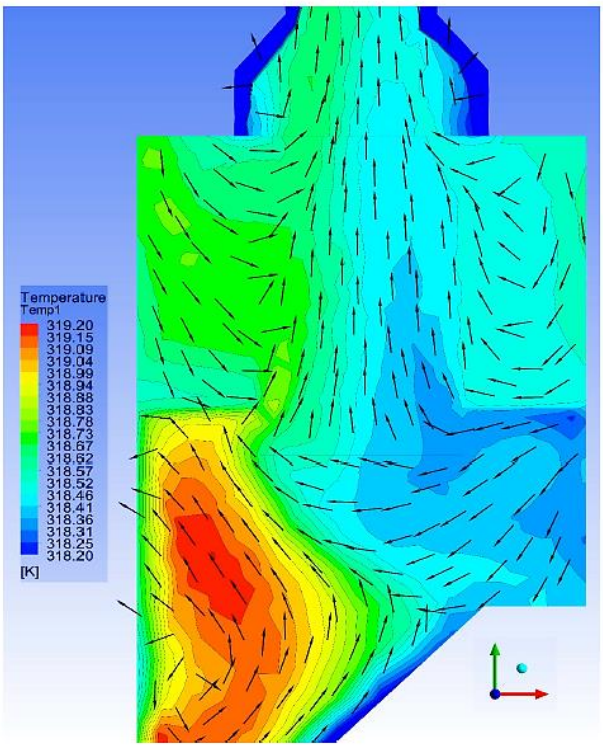
در ادامه با هدف گردش بهتر هوا در داخل محفطه و کاهش دمای آن در روزهای گرم سال، از فن استفاده می‌شود. در شکل (۸) تاثیر فن بر روی جریان و دمای داخل خشک‌کن در ظهر خورشیدی نشان داده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]



شکل۷. تغییرات دمای خشک‌کن برای ۱۲ ساعت در گرمترین روز سال



شکل۸. کانتور توزیع دما و سرعت برای محفظه خشک‌کن با در نظر گرفتن فن

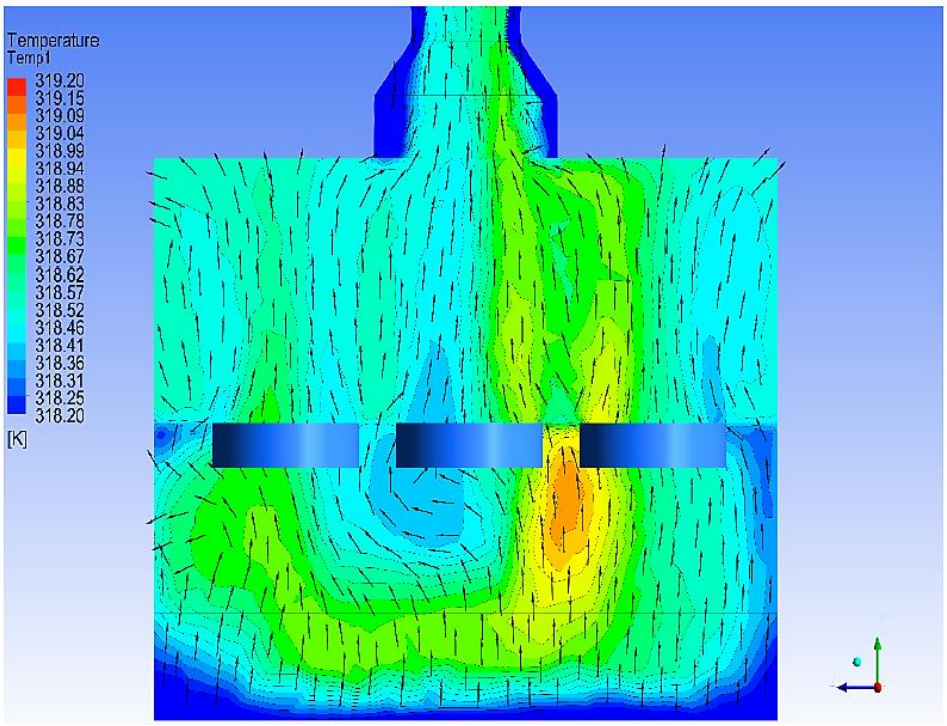
با توجه به شکل (۸) می‌توان دریافت که در صورت استفاده از فن بیشینه دما در محفظه خشک‌کن به حدود ۳۲۰ می‌رسد و کمینه دما نیز ۳۱۸ درجه کلوین می‌باشد. نتیجه مهمی که قابل دریافت است این است که در این حالت دمای محفظه خشک-کن در بازه‌ی دمای مجاز برای خشک‌کردن گیاه نعناع می‌باشد و در گام دوم نیز نتیجه می‌شود که توزیع دما در داخل محفظه بسیار یکنواخت می‌شود به طوری که تفاوت دمای کمینه و بیشینه محفظه خشک‌کن تنها در حدود ۲ درجه می‌باشد. با

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

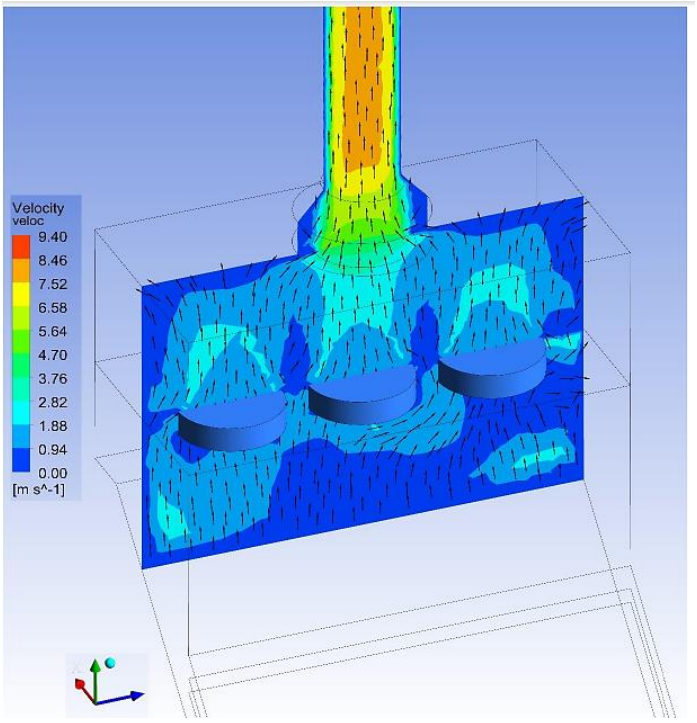
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

مقایسه شکل با حالت بدون فن می‌توان دریافت که استفاده از فن، دمای داخل محفظه را تا حدود ۱۸ درجه کلوین کاهش می‌دهد.

در شکل‌های(۹) تا (۱۱) الگوی دما و جریان هوا در محفظه، داخل کلکتور و سینی محصول و اطراف آن مشاهده می‌شود.



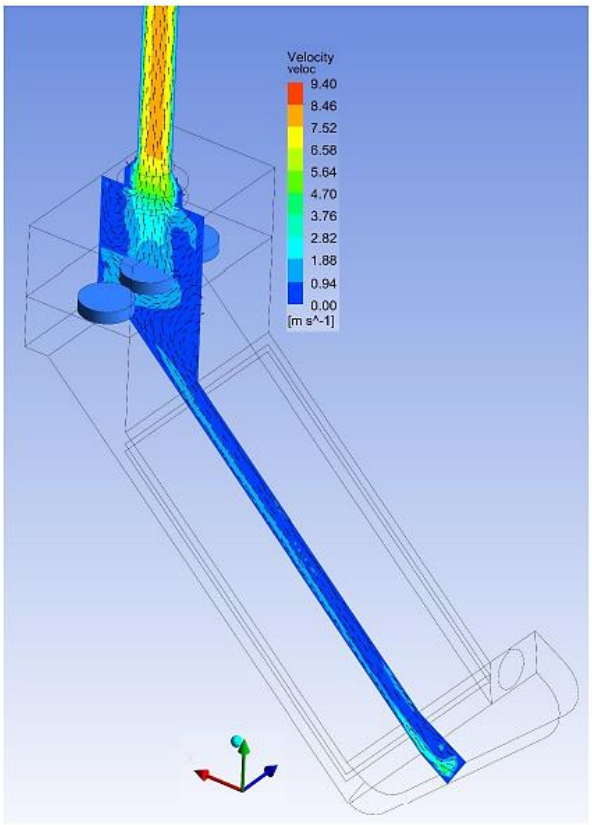
شکل۹.کانتور دما و سرعت جریان هوا در خشک‌کن مجهز به فن از نمای جلویی



شکل۱۰. تاثیر فن بر روی الگوی جریان در داخل محفظه و اطراف نمونه

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]



شکل۱۱. نمای ایزومتریک از جریان هوا داخل خشک‌کن

۶- جمع بندی

نتایج به دست آمده از مدل سازی عددی انتقال حرارت در درون و خارج خشک‌کن خورشیدی نمونه با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی نشان داد که:

۱- در صورتی که جهت ورودی هوای خشک‌کن به سمت جریان‌های باد منطقه باشد، می‌توان در خنک‌شدن محفظه خشک‌کن موثر باشد.

۲- سرعت هوا در داخل محفظه خشک‌کن مورد بررسی همواره در محدوده ۰/۵ تا ۱ متر بر ثانیه است که سرعت هوای مطلوب برای خشک‌کردن نعناع محسوب می‌شود.

۳- بیشینه دمای هوا در داخل محفظه خشک‌کن ۳۶۵ درجه کلوین می‌باشد که کمی بالاتر از محدوده استاندارد برای خشک‌کردن نعناع می‌باشد و از اینرو برای رساندن دما به میزان مطلوب از روش نصب فن و تبدیل جریان جابجایی طبیعی به جابجایی اجباری استفاده شد.

۴- تاثیر استفاده از فن بر روی توزیع سرعت و دما نشان داد در صورت استفاده از فن دمای داخل محفظه را تا ۱۸ درجه کلوین کاهش و سرعت جریان هوا در خروجی را تا ۴/۵ متر بر ثانیه افزایش می‌دهد.

علائم اختصاری

T	دما (k)	G	منبع گرمایی ($j\ s^{-1}$)
C_p	ظرفیت گرمایی ویژه ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$)	S_h	منبع تولید گرما ($j\ s^{-1}$)

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

D_H	قطر هیدرولیکی (m)	E	انرژی کل (j)
f	ضریب اصطکاک	u	سرعت ($m\ s^{-1}$)
g	شتاب جاذبه ($m\ s^{-2}$)	J	گرمای تابشی ($w\ m^{-2}$)
k	ضریب هدایت گرمایی ($W\ m^{-1}\ K^{-1}$)	σ	ثابت بولترمن ($1.3807 \times 10^{-23}\ J\ K^{-1}$)
w	عرض محفظه (m)	ε	ضریب انتشار سطح
H	ارتفاع محفظه (m)	β	ضریب انبساط حجمی (k^{-1})
Nu	عدد ناسلت	ρ	چگالی ($kg\ m^{-3}$)
P	محیط محفظه	p	فشار (Pa)
A_c	سطح مقطع جریان		

مراجع

[1] Sanghi, A., Ambrose, R. K., & Maier, D. (2018). CFD simulation of corn drying in a natural convection solar dryer. *Drying technology*, *36*(7), 859-870.

[2] Stoppe, A. C. R., Neto, J. L. V., & dos Santos, K. G. (2020). Development of a fixed bed solar dryer: experimental study and CFD simulation. *Research, Society and Development*, *9*(3), e123932667-e123932667.

[3] Noh, A. M., Mat, S., & Ruslan, M. H. (2018). CFD simulation of temperature and air flow distribution inside industrial scale solar dryer. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *45*(1), 156-164.

[4] Purusothaman, M., Valarmathi, T. N., & sai Santhosh, P. (2019, March). CFD Analysis of greenhouse solar dryer with different roof shapes. In *2019 Fifth International Conference on Science Technology Engineering and Mathematics (ICONSTEM)* (Vol. 1, pp. 408-412). IEEE.

[5] Srichat, A., Vengsungnle, P., Hongtong, K., Kaewka, W., & Jongpluempiti, J. (2019, March). A Comparison of Temperature for Parabola and Sinusoidal Greenhouse Solar Dryer by CFD. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 501, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.

[6] Khaldi, S., Korti, A. N., & Abboudi, S. (2018). Applying CFD for studying the dynamic and thermal behavior of an indirect solar dryer: paramertric analysis. *Mechanics and Mechanical Engineering*, *22*(1), 253-272.

[7] Getahun, E., Delele, M. A., Gabbiye, N., Fanta, S. W., Demissie, P., & Vanierschot, M. (2021). Importance of integrated CFD and product quality modeling of solar dryers for fruits and vegetables: A review. *Solar Energy*, *220*, 88-110.

[8] Chaatouf, D., Salhi, M., Raillani, B., Dihmani, N., Amraqui, S., Moussaoui, M. A., & Mezrhab, A. (2020, April). Trays effect on the dynamic and thermal behavior of an indirect solar dryer using CFD method. In *International Conference on Electronic Engineering and Renewable Energy* (pp. 691-697). Springer, Singapore.

[9] Iranmanesh, M., Akhijahani, H. S., & Jahromi, M. S. B. (2020). CFD modeling and evaluation the performance of a solar cabinet dryer equipped with evacuated tube solar collector and thermal storage system. *Renewable Energy*, *145*, 1192-1213.

[10] Vélez-Piedrahita, S., Ciro-Velásquez, H., Osorio-Saráz, J., & Largo-Ávila, E. (2019). Study of the effect of the geometry of a typical solar dryer for coffee using CFD. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *18*(35), 149-161.

[11] Chavan, A., Vitankar, V., & Thorat, B. (2021). CFD modeling and experimental study of solar conduction dryer. *Drying Technology*, *39*(8), 1087-1100.

[12] Mellalou, A., Riad, W., Hnawi, S. K., Tchenka, A., Bacaoui, A., & Outzourhit, A. (2021). Experimental and CFD Investigation of a Modified Uneven-Span Greenhouse Solar Dryer in No-Load Conditions under Natural Convection Mode. *International Journal of Photoenergy*, *2021*.

[13] Nukulwar, M. R., & Tungikar, V. B. (2020). Design and development of steam-based solar dryer for agricultural products. In *Proceedings of International Conference in Mechanical and Energy Technology* (pp. 365-375). Springer, Singapore.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

[14] Alimohammadi, Z., Akhijahani, H. S., & Salami, P. (2020). Thermal analysis of a solar dryer equipped with PTSC and PCM using experimental and numerical methods. *Solar Energy*, *201*, 157-177.
[15] Anand, S., Mishra, D. P., & Sarangi, S. K. (2020). CFD supported performance analysis of an innovative biomass dryer. *Renewable Energy*, *159*, 860-872.
[16] Amouiri, R., & Belhamri, A. (2022). CFD investigations on the behavior of a solar dryer used for medicinal herbs dehydration under climatic conditions of Constantine, Algeria. *Materials Today: Proceedings*.
[17] Chavan, A., Vitankar, V., Shinde, N., & Thorat, B. (2021). CFD simulation of solar grain dryer. *Drying Technology*, *39*(8), 1101-1113.
[18] Obayopo, S. O., & Oluwasanmi, A. (2019). CFD and experimental analysis of direct solar dryer for fish. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, *21*(2), 108-117.
[19] Mutabilwa, P., & Nwaigwe, K. N. (2020, June). Design, construction and CFD modeling of a banana-solar dryer with double pass solar air collector. In *Energy Sustainability* (Vol. 83631, p. V001T02A002). American Society of Mechanical Engineers.
[20] Salvatierra-Rojas, A., Ramaj, I., Romuli, S., & Müller, J. (2021). CFD-Simulink Modeling of the Inflatable Solar Dryer for Drying Paddy Rice. *Applied Sciences*, *11*(7), 3118.
[21] Singh, R., Salhan, P., & Kumar, A. (2021, June). CFD Modelling and Simulation of an Indirect Forced Convection Solar Dryer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 795, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
[22] Vivekanandan, M., Periasamy, K., Babu, C. D., Selvakumar, G., & Arivazhagan, R. (2021). Experimental and CFD investigation of six shapes of solar greenhouse dryer in no load conditions to identify the ideal shape of dryer. *Materials Today: Proceedings*, *37*, 1409-1416.
[23] Román-Roldán, N. I., López-Ortiz, A., Ituna-Yudonago, J. F., García-Valladares, O., & Pilatowsky-Figueroa, I. (2019). Computational fluid dynamics analysis of heat transfer in a greenhouse solar dryer "chapel-type" coupled to an air solar heating system. *Energy Science & Engineering*, *7*(4), 1123-1139.
[24] Ebrahimi, H., Akhijahani, H. S., & Salami, P. (2021). Improving the thermal efficiency of a solar dryer using phase change materials at different position in the collector. *Solar Energy*, *220*, 535-551.
[25] Jain, A., Sharma, M., Kumar, A., Sharma, A., & Palamanit, A. (2019). Computational fluid dynamics simulation and energy analysis of domestic direct-type multi-shelf solar dryer. *Journal of Thermal Analysis And Calorimetry*, *136*(1), 173-184.
[26] Tegenaw, P. D., Gebrehiwot, M. G., & Vanierschot, M. (2019). On the comparison between computational fluid dynamics (CFD) and lumped capacitance modeling for the simulation of transient heat transfer in solar dryers. *Solar Energy*, *184*, 417-425.
[27] Motahayyer, M., Arabhosseini, A., & Samimi-Akhijahani, H. (2019). Numerical analysis of thermal performance of a solar dryer and validated with experimental and thermo-graphical data. *Solar Energy*, *193*, 692-705.
[28] Ramteke, R. T., Solanki, S. N., & Bhosale, B. S. (2018). CFD (Computational fluid dynamics) Analysis of the Solar Dryer Integrated with Thermal Storage Media. *Journal of Agriculture Research and Technology*, *43*(2), 401.
[29] Desisa, D. G. (2021). Mathematical Modelling and Performance Analysis of Flat Plate Solar Dryer-CFD Simulation Approach. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *9*(1), 172-180.
[30] Sajadiye, S. M., & Saberian, A. (2021). The effect of weather on temperature variation inside a solar dryer in Ahvaz-Iran using computational fluid dynamics method. *Journal of Food Process Engineering*, *44*(12), e13903.
[31] Malekjani, N., & Jafari, S. M. (2018). Simulation of food drying processes by Computational Fluid Dynamics (CFD); recent advances and approaches. *Trends in Food Science & Technology*, *78*, 206-223.
[32] Al-Kayiem, H. H., & Gitan, A. A. (2021). Flow uniformity assessment in a multi-chamber cabinet of a hybrid solar dryer. *Solar Energy*, *224*, 823-832.
[33] Güler, H. Ö., Sözen, A., Tuncer, A. D., Afshari, F., Khanlari, A., Şirin, C., & Gungor, A. (2020). Experimental and CFD survey of indirect solar dryer modified with low-cost iron mesh. *Solar Energy*, *197*, 371-384.
[34] Benhamza, A., Boubekri, A., Atia, A., Hadibi, T., & Arıcı, M. (2021). Drying uniformity analysis of an indirect solar dryer based on computational fluid dynamics and image processing. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *47*, 101466.
[35] Demissie, P., Hayelom, M., Kassaye, A., Hailesilassie, A., Gebrehiwot, M., & Vanierschot, M. (2019). Design, development and CFD modeling of indirect solar food dryer. *Energy Procedia*, *158*, 1128-1134.
[36] Chaatouf, D., Salhi, M., Raillani, B., Amraqui, S., & Mezrhab, A. (2022). Applying CFD for the optimization of the drying chamber of an indirect solar dryer. In *WITS 2020* (pp. 575-581). Springer, Singapore.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

[37] Potgieter, M. S. W., Bester, C. R., & Bhamjee, M. (2020). Experimental and CFD investigation of a hybrid solar air heater. *Solar Energy*, *195*, 413-428.

[۳۸] رحیمی اصل، ر سلطانی، م: ۱۳۹۵، دینامیک سیالات محاسباتی به کمک نرم افزار FLUENT فلوئنت. چاپ هفتم نشر طراح، تهران، ۴۳۰ ص.

[39] Rodi W. (1993). Turbulence Models and Their application in Hydraulics: A State Of The Art Review, 3rd Edition. IAHR Monograph, p. 92.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]

چکیده انگلیسی:

Improvement of heat transfer inside a solar dryer for drying mint using computational fluid dynamics

Mohammad Bagher Heidari Varnamkhasti[1], Hasan Ghafori[2*]

1- M.Sc, Department of Mechanical Engineering, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan. Iran.
Bagherheidari1600@gmail.com
*2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan. Iran.
hasangh28@gmail.com

Received: May 2022 Accepted: July 2022

Abstract

Using solar dryers in areas with high solar intensities is an economical way to dry food. Drying performance factors depend on factors such as the geometry of the dryer, the drying material and the climate of the area. Therefore, the aim is to simulate fluid flow and heat transfer in a solar dryer to dry the mint plant in Kerman region, which was done using computational fluid dynamics (CFD). In this study, by adding a ventilation fan above the dryer chamber, the dryer temperature was controlled and improved during the hot seasons of the year. This simulation is done as much as possible by considering the actual operating conditions and even the material and materials used in the construction of the dryer so that the results are as close to reality as possible. By validating the results obtained from the numerical simulation method with the data presented experimentally in other articles, it was proved that by using the dynamic method of computational fluids, the behavior of real dryers can be simulated with high accuracy. The advantage of using the simulation method over making a laboratory sample is that in this method it is possible to observe the pattern of air flow through the inner and outer part of the dryer, evaluate the pattern of temperature changes and also the amount of radiation received by the dryer for a full day and generalization. It exists for a year with much lower time and cost. Due to the fact that the performance of the system can be predicted for one year, as a result, it is possible to determine the appropriate or inappropriate time periods of this device for drying mint. It was also stated in this study that by installing a fan to suck the air currents of the dryer, the drying performance of mint can be improved and the heat transfer in the dryer can be improved, especially in the hot months of the year. It is also shown that using the installed fans, the air temperature of the dryer can be reduced to 18 degrees Kelvin, and as a result, a more desirable dried sample can be achieved.

Key words: Solar dryer, Computational fluid dynamics, Forced heat transfer, Mint
*corresponding author: hasangh28@gmail.com

Cite this article as: Mohammad Bagher Heidari Varnamkhasti, Hasan Ghafori. Improvement of heat transfer inside a solar dryer for drying mint using computational fluid dynamics. Journal of Energy Conversion, 2022, 9(2), 83-98. DOR**:** 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.2.5.8]