

بررسی و شبیه‌سازی اثرات تغییر هندسی نازل ورودی بخار بر یکنواختی دما و افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی در بلادر پرس‌های پخت

محسن مام احمدی^{*}، کاوه احمدی و رؤف خضریان

لاستیک بارز کردستان

mohsenmamahmadi@gmail.com

چکیده: در دستگاه‌های پرس پخت به‌منظور انتقال حرارت از سیال حامل انرژی (بخار اشباع، آبگرم، نیتروژن) به گرین تایر از بلادر استفاده می‌شود. سیال حامل انرژی پس از طی مسیرهای مختلف در سنترپست وارد بلادر شده و پس از انتقال انرژی موردنیاز به گرین تایر، از بلادر خارج می‌شود. یکی از موارد مهم فرایند پخت تایر، استفاده حداکثری از میزان انرژی سیال و کاهش تلفات آن است. در این مقاله سعی شده است که اثر پارامتر سرعت سیال بر سرعت انتقال حرارت به گرین تایر و یکنواختی دما در قسمت‌های مختلف بلادر، نوع جریان لایه‌مرزی ایجادشده و میزان ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی به‌دلیل تغییر هندسه نازل ورودی به بلادر موردبررسی قرار گیرد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که با بهینه کردن سرعت و در نتیجه افزایش ضریب انتقال حرارت و ایجاد جریان کاملاً آشسته با اعداد رینولدز بالا، می‌توان، زمان یکنواخت شدن دما در قسمت‌های مختلف بلادر را کاهش داده و نرخ انتقال حرارت را بالا برد.

واژه‌های کلیدی: بلادر، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، یکنواختی دما

مقدمه

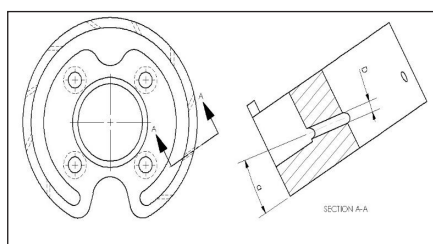
فرایند پخت تایر در دستگاه‌های پرس پخت یکی از اساسی‌ترین مراحل تولید تایر در کارخانه‌های تایرسازی است که کیفیت مراحل این فرایند به‌طور مستقیم بر کیفیت محصول نهایی، طول عمر محصول و بلادر، میزان مصرف انرژی و هزینه‌های جاری شرکت تأثیرگذار است. یکی از اجزاء اصلی دستگاه‌های پرس پخت، بلادر است که وظیفه انتقال انرژی از سیال حامل انرژی به تایر را بر عهده دارد. نحوه توزیع سیال حامل انرژی (در این مقاله بخار اشباع با فشار ۱۶٫۵ بار مورد مطالعه قرار گرفته است) در داخل بلادر، یکنواختی توزیع پارامترهایی نظیر سرعت و دما، بر زمان و کیفیت فرایند پخت و همچنین میزان مصرف انرژی تأثیرگذار است.

در پرس‌های موجود در کارخانه جهت ورود بخار اشباع به داخل بلادر از یک سری نازل با ابعاد مشخص استفاده می‌شود. این نازل‌ها دارای ساختار هندسی استوانه‌ای ساده هستند. (شکل ۱).



شکل ۱-

به‌منظور افزایش اختلاط و تلاطم بخار اشباع در داخل بلادر، افزایش انرژی جنبشی، افزایش عدد رینولدز و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بین بخار اشباع و بلادر، افزایش یکنواختی دما در قسمت‌های مختلف بلادر (به‌خصوص در قسمت‌های بالا و پایین بلادر)، ساختار هندسی آن‌ها را تغییر داده و سعی شده است که مطابق با پیشرفت‌های جدید در طراحی نازل، بر مبنای مبانی ترمودینامیک و پایداری جرم و انرژی، از نازل‌های همگرا-واگرا اسپیرال (شکل ۲) استفاده شود و اثرات مربوط به افزایش مؤلفه‌های سرعت مماسی و محوری جریان بر روی ضریب انتقال حرارت مورد ارزیابی قرار گیرد.



شکل ۲-

در ادامه معادلات حاکم بر یک نازل برای جریان سیال بخار موردبررسی قرار داده شده است:

براساس معادلات اولیه پایداری جرم:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \rho dV + \int \rho V \cdot n dA = 0$$

با فرض جریان پایا و نیز مشخص بودن چگالی بخار اشباع در دما و فشار مشخص براساس جداول ترمودینامیکی:

$$\dot{m} = \rho V A$$

از طرفی با فرض آدیاباتیک بودن فرایند، معادله پیوستگی انرژی به‌صورت زیر است [۱]:

$$h_0 = h + 1/2 * V^2 \quad (V = V_x + V_\theta)$$

در مورد جریان‌های گردابی بایستی از یک عدد بی بعد به نام عدد گردابه‌ای [۲ و ۳]، (Swirl number) نیز استفاده کرد که درواقع شدت چرخش جریان را مشخص می‌کند و به‌صورت شار مومنتم چرخشی به شار مومنتم محوری تعریف می‌شود و مفهوم آن را می‌توان، درصد تبدیل انرژی جنبشی سیال به حرکت چرخشی تعبیر کرد. این عدد به‌طور کلی مطابق معادله زیر تعریف می‌شود [۳]:

$$S = \frac{G_\theta}{d/2 * G_x}$$

که به‌صورت زیر نیز بسط داده می‌شود: [۲]:

$$S = \frac{\int_0^R \rho (V_x * V_\theta) dr}{r \int_0^R \rho * (V_x)^2 r dr}$$

که در آن V_x و V_θ به‌ترتیب مؤلفه‌های محوری و مماسی سرعت در خروجی نازل در نظر گرفته می‌شوند. براساس داده‌های تجربی و مطالعات انجام‌شده توسط Gupta, et al و معادلات حاکم بر لایه‌مرزی در جریان‌های آشسته با لایه‌مرزی کاملاً توسعه‌یافته [۴ و ۵] می‌توان به اثر این عدد بر روی میزان انتقال حرارت و

بر اساس طراحی مجدد نازل‌ها قطر نازل به ۲ میلی‌متر کاهش داده شد و معادلات فوق مجدد بررسی و حل شد. همچنین قسمت‌های مختلف سنترپست و بلادر برای سایز 185/65 R14 طراحی و نحوه جریان در آن شبیه‌سازی شد (شکل ۳).

نتیجه‌گیری

بر اساس تغییرات انجام‌شده بر روی نازل میزان ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی به میزان ۳۲٪ بهبود داشته و حرارت در قسمت‌های پایین بلادر سریع‌تر از قبل انتقال یافته است و سبب یکنواختی دما در قسمت‌های مختلف پایین بلادر شده است. این مهم با سیم‌گذاری قسمت‌های موردنظر و داده‌برداری در طول سیکل مشخص پخت برای تیر سایز 185/65 R14 صحه‌گذاری شده و در نمودارهای آن قابل‌مشاهده است. همچنین میزان اختلاف دمای قبل از بازطراحی بین بلادر بالا و پایین (حدود ۱۲ درجه سانتی‌گراد) به حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد رسیده است ولی باحالت بهینه (۳ تا ۵ درجه سانتی‌گراد) فاصله دارد که در مراحل بعد می‌توان بر روی تزریق پالسی بخار نیز برای کاهش آن اقدام کرد که در دست بررسی است (شکل ۴).

یکنواختی دما اشاره کرد. افزایش مؤلفه مماسی سرعت و در نتیجه افزایش عدد گردابه‌ای در محدوده ۰.۴۵ تا ۱.۲ می‌تواند هم‌زمان با کاهش افت فشار در مرکز جریان گردابه‌ای، سبب بهبود ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی شود. بر اساس معادلات مربوط به انتقال حرارت آشفته بر مبنای اعداد ناسلت، پراتل و رینولدز خواهیم داشت [۶ تا ۸]:

$$Nu = C * (Re)^m * (Pr)^n$$

از طرفی:

$$Nu = \frac{h * L}{K}$$

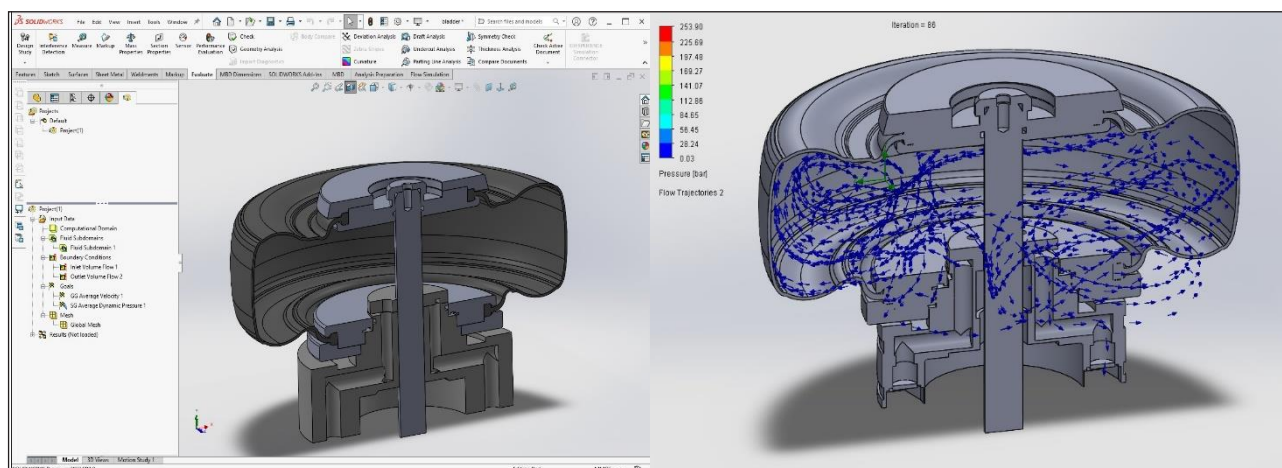
و همچنین خواهیم داشت:

$$h \propto (Re)^{0.8} * (Pr)^{0.33} * (1 + Ks)$$

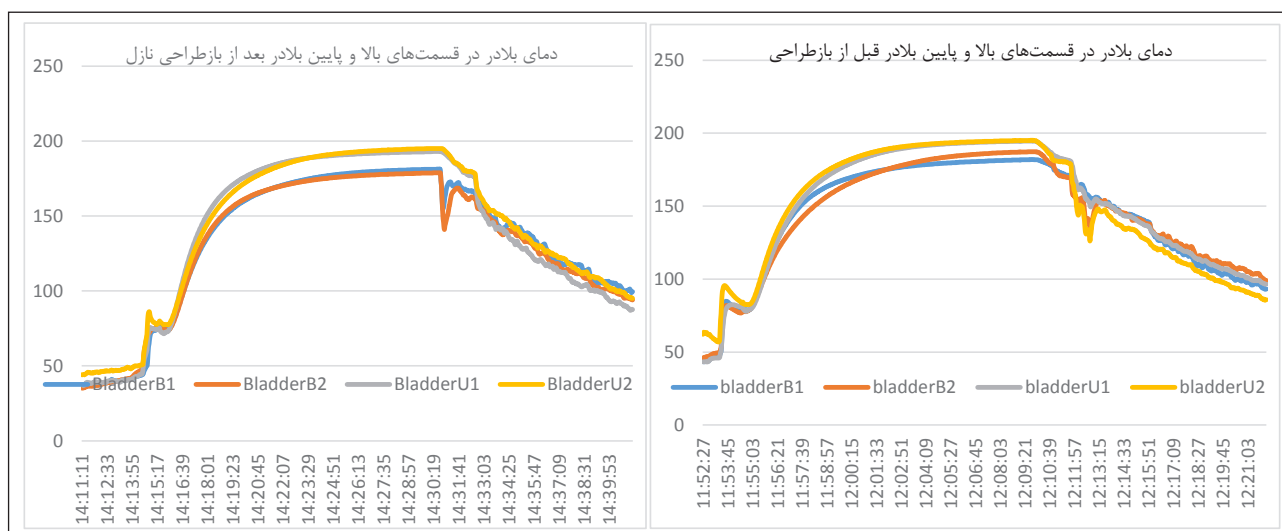
باتوجه به معادلات فوق، دستگاه پرس پخت بر اساس مفروضات زیر مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱).

جدول ۱-

P(bar)	D(mm)	Q ($\frac{m^3}{h}$)	$v_g (m^3/kg)$	S	N (تعداد نازل)
۱۶.۵	۳	۳۰	۰.۱۲۸۰	۰.۵	۱۰



شکل ۳-



شکل ۴-

مراجع

- [1] Frank M.White, Fluid Mechanics, 7th edition, chapter 9, compressible fluids (2011).
- [2] Guillaume Vigant, Daniel Durax, Sebastien Candel, The suitability of different swirl number, March (2022).
- [3] Gupta A.k, Lilley D.G, Syred N, Swirl flows (1984).
- [4] Stephen B. Pope, Turbulent flows (2000).
- [5] Hermann Schlichting, Klaus Gersten, Boundary layer theory, Part IV, Turbulent boundary layers, 9th edition (2017).
- [6] John Wiley, Convective heat transfer, 4th edition (2013).
- [7] James P.Hartnett, Thomas F. Irvine, Advances in heat transfer (1997).
- [8] Anjuk Shukla, Anupam Dewon, Flow and thermal characteristics of jet impingement (March 2017).
- [9] Holger Martin, heat and mass transfer between impinging gas jet and solid surfaces (2001).