

شبیه سازی عددی هیدرودینامیک و انتقال حرارت در بسترهای سیالی جت دار

حبيب الله سایه وندا، حسنا مطیری^۲

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه بوعلی سینا، همدان

h.moteiri@eng.basu.ac.ir



دانشگاه بوعلی سینا
دانشکده مهندسی

چکیده

در این تحقیق از مدل دو سیالی به همراه معادله انرژی حرارتی برای توصیف هیدرودینامیک و انتقال گرما در بسترهای سیال گازی استفاده می شود. در این مدل فازهای جامد و سیال با معرفی متغیر کسر حجمی در درون یک حجم معیار قرار می گیرند. هر فاز جداگانه با استفاده از معادلات بقای جرم، اندازه حرکت و انرژی حل می گردد. جت هایی در یک بستر سیالی گاز-جامد تشکیل می شوند، هر تغییری در رفتار جت تاثیر قابل ملاحظه ای بر رفتار هیدرودینامیکی و انتقال حرارتی درون بستر دارد. در نتیجه درک مشخصات جت برای بهبود عملکرد بسترهای سیالی گاز-جامد از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار است. کلمات کلیدی: بستر سیالی، دینامیک سیالات محاسباتی، بستر جت دار، جریان دوفازی

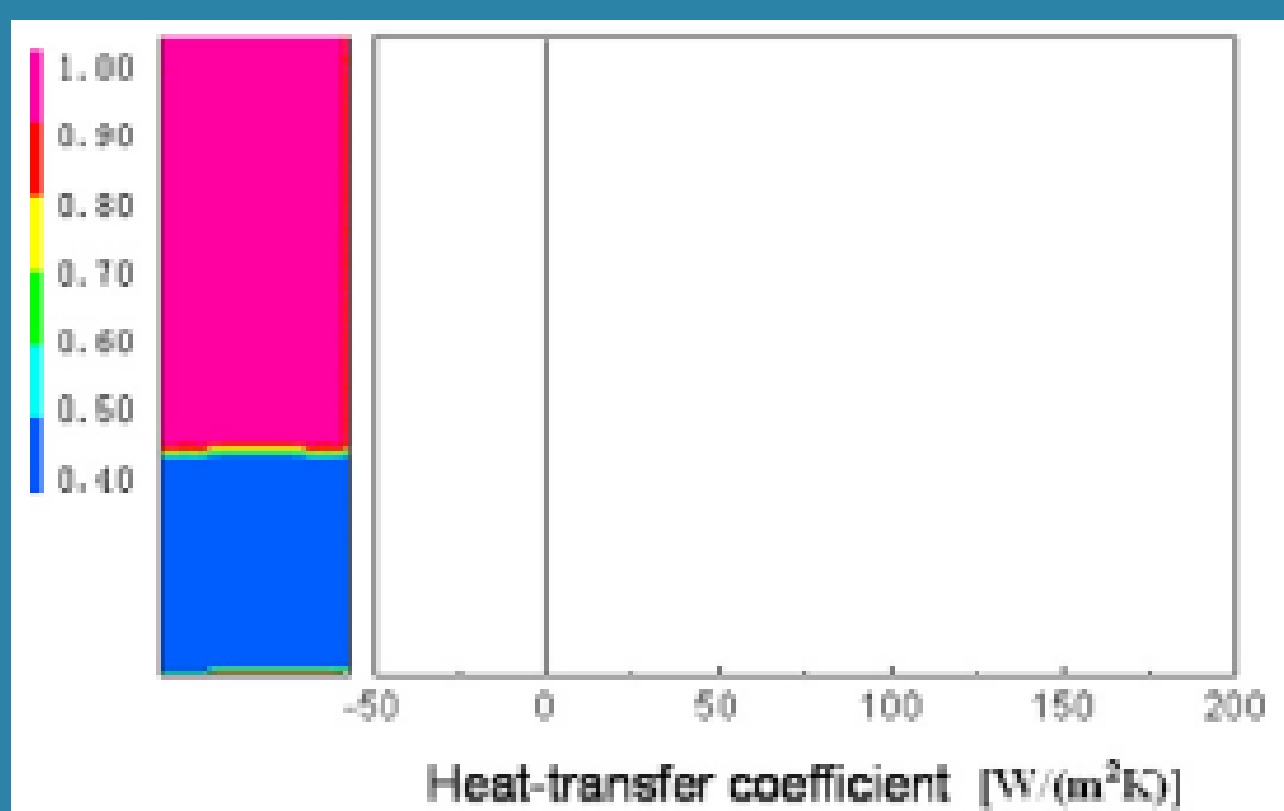
مقدمه

نتایج و بحث

از طریق کوبل کردن یک مدل ساده دو سیالی و معادله انرژی نتایج زیر برای بستر سیالی گاز-جامد بدست آمده است.

هنگامی که یک جت پالسی بعنوان یک شرط مرزی به مسئله وارد می شود، ضریب انتقال حرارت محلی مجاور حباب بسیار کوچک است، در حالیکه در پشت حباب مقدار بیشتری را از خود به نمایش می گذارد. و این نشان می دهد ضریب انتقال حرارت از بستر به دیوار به شدت به تشکیل و توسعه جت بستگی دارد. که این یافته ها منطبق با نظریه نفوذ کوپرز و همکاران است.

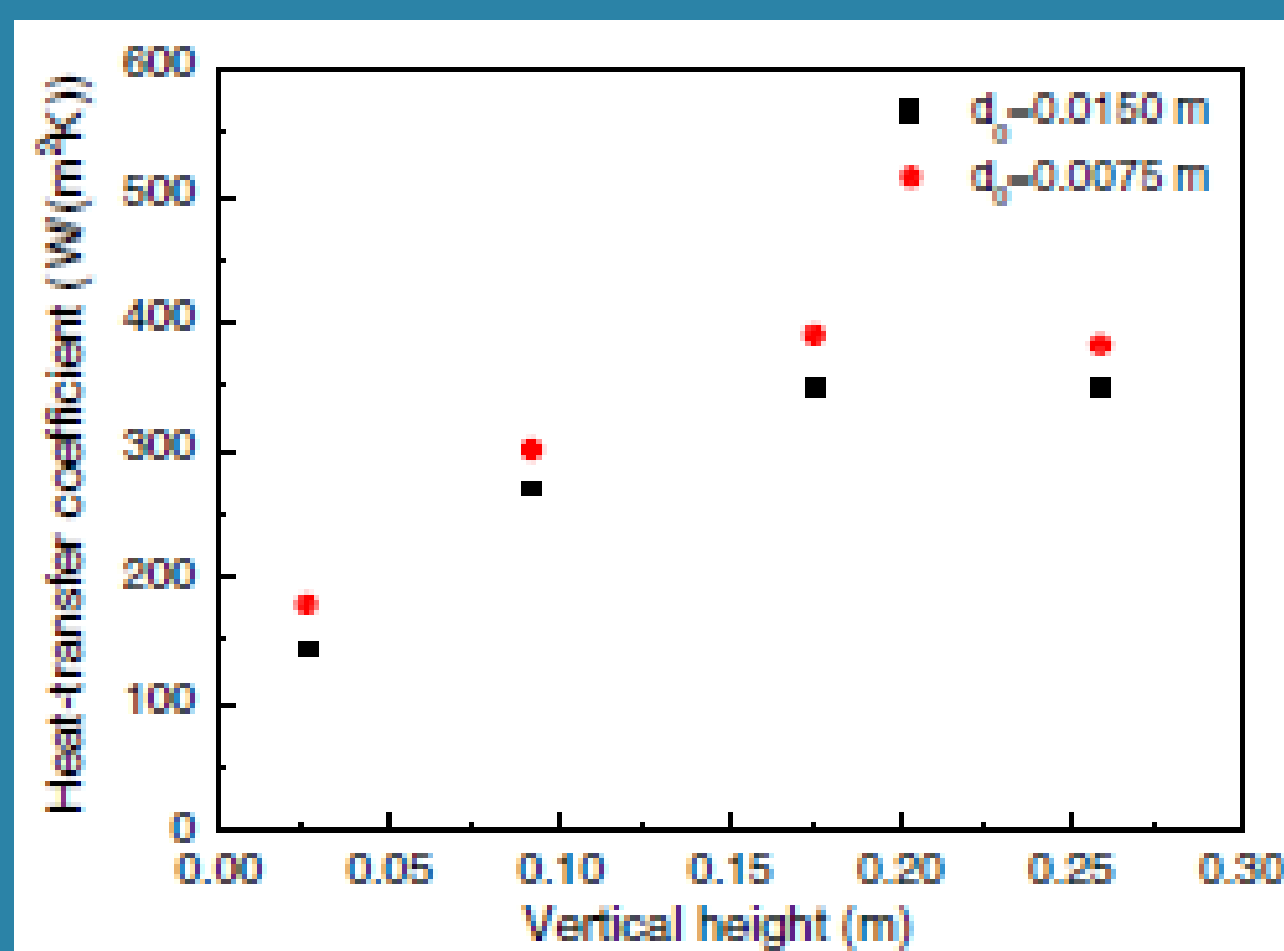
هنگامی که یک جت دائمی معرفی می شود، ضریب انتقال حرارت متوسط گیری شده زمانی، با افزایش سرعت گاز جت، اندازه ذرات و اندازه نازل کاهش می یابد، در حالی که با افزایش انتقال حرارت هدایتی جامد، افزایش می یابد. تاثیر هدایت حرارتی گاز در ضریب انتقال حرارت می تواند در محدوده این مطالعه نادیده گرفته شود.



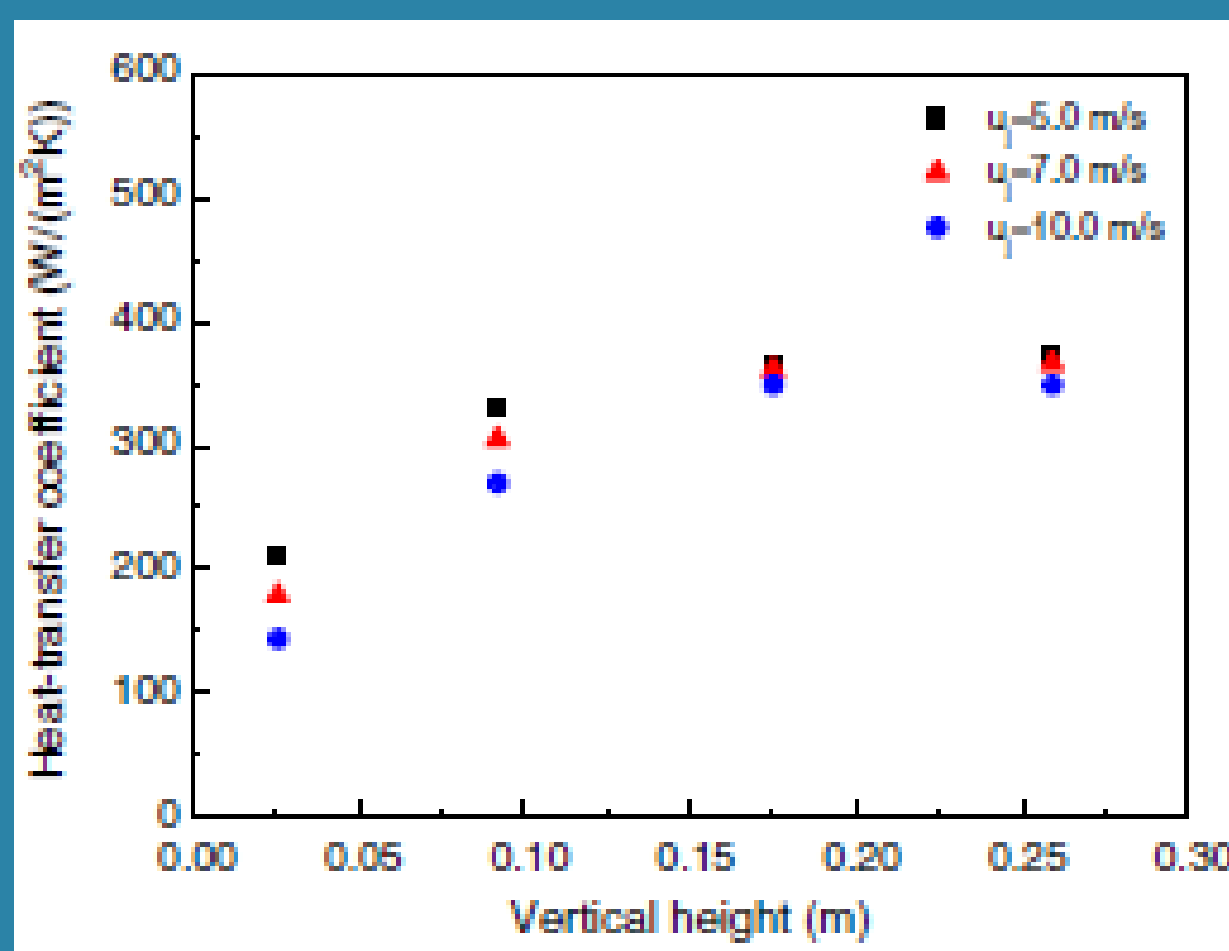
t=0s

t=0.1s

شکل ۱. تغییرات ضریب انتقال حرارت در زمان های 0, 0.1 s



شکل ۳. تاثیر تغییر اندازه ذرات روی ضریب انتقال حرارت متوسط گیری شده زمانی



شکل ۲. تاثیر جت ورودی روی ضریب انتقال حرارت متوسط گیری شده زمانی

بسترهای سیالی گاز-جامد به خاطر نرخ انتقال حرارت بالای ناشی از حرکت شدید ذرات جامد و سطح مشترک ویژه آن ها، انتخاب مناسبی در عملیات انتقال حرارت می باشند. این بسترها در صنایع بسیاری نظیر صنایع شیمیایی، مکانیکی، معدنی، غذایی و دارویی به کار می روند. به همین دلیل در صنعت از اهمیت بالایی برخوردار هستند. بسترهای سیالی گاز-جامد به دلیل دوفازی بودن برای حل دارای پیچیدگی هایی هستند به همین دلیل انتخاب روش مناسب برای حل اینگونه مسائل دارای اهمیت است. در میان بسیاری از مدل هایی که سعی در پیش بینی هیدرودینامیک و ویژگی های مربوط به بسترهای سیالی و دیگر سیستم هایی که جریان چند فازی متراکم دارند، دینامیک سیالات محاسباتی دارای بیشترین توان برای حل این مسائل است. این روش قابلیت مدل کردن نیروهای درگ و لیفت، پدیده های سطحی، ذرات با طیف وسیعی از اشکال، اندازه ها و چگالی ها و با حرکت جداگانه و نیز برخورد های بین ذره ای که همگی در بسترهای سیالی مورد توجه قرار میگیرند را دارد. بنابراین با تکیه بر این روش می توان هیدرودینامیک و انتقال حرارت را در بسترهای سیالی گاز-جامد جت دار شبیه سازی کرد و به بررسی اثرات جابجایی مکان و تغییر سرعت جت ورودی، تغییر اندازه و نوع ذره که از اهداف این تحقیق هستند پرداخت.

پیشینه پژوهش

در مقایسه با شبیه سازی های عددی در خصوص هیدرودینامیک بسترهای سیالی گاز-جامد، تحقیقات در مورد رفتارهای انتقال حرارتی بسیار کمتر انجام شده است. در مراجع [۴ و ۳] دینامیک سیالات محاسباتی بر مبنای مدل دو-فازی برای تحقیق در خصوص هیدرودینامیک بسترهای سیالی به کار رفته است. در مطالعات با شبیه سازی عددی اولیه انتقال حرارت در بسترهای سیالی مدل لژ جت ثابت برای یافتن رئولوژی فاز ذره به کار گرفته شد و سپس مدل تئوری جنبشی جریان های دانه ای مورد ملاحظه قرار گرفت. از آنجا که مدل تئوری جنبشی جریان های دانه ای ضریب هدایت حرارتی فاز جامد را خیلی بیشتر از واقعیت می گرفت در نتیجه برای ضریب انتقال حرارت دیوار به بستر مقادیر خیلی بزرگی به دست می آمد [۵]. برای رفع این معضل مدل ساده ای توسط براندانی و همکاران پیشنهاد شد [۶] که خود آن بر مبنای مدل غیر لژج دوسیالی گیداسپو بود [۷]. در این مدل تاثیر فاز ذرات متفرق بر معادلات اندازه حرکت سیال و ذره در یک حالت شبه تعادلی مورد نظر قرار گرفت. این مدل با داده های تجربی در یک بستر سیالی جت دار ارزیابی گردید [۸]. در همین خصوص با هدف ایجاد یک مدل شبیه سازی عددی برای توصیف انتقال حرارت در بسترهای سیالی گاز جامد، یک مدل دینامیک سیالات محاسباتی با ترکیب معادلات انرژی و مدل دوسیالی معرفی گردید [۶]. تاثیر جت پالسی بر رفتارهای انتقال حرارت جت با تئوری نفوذ کوپرز و همکاران مقایسه گردید [۹]. همچنین با هدف درک تاثیر جت بر پارامترهای شبیه سازی هیدرودینامیک و انتقال حرارت بستر به دیوار، تاثیر پارامترهای فیزیکی گاز-جامد و شرایط عملکردی بر ضریب انتقال حرارت مؤثر وابسته به زمان میدان جریان و انتقال حرارت در بستر سیالی با جت پیوسته در مرجع [۶] بررسی گردید. وو و همکاران نیز یک مدل دینامیک سیالات محاسباتی برای مقیاس کردن این بسترها ارائه نمودند. نتایج شبیه سازی آن ها نشان داد که ضریب انتقال حرارت متوسط گیری شده زمانی موضعی با افزایش ضریب هدایت حرارتی جامد، کاهش سرعت جت، کاهش قطر ذره و سایش نازل افزایش می یابد [۱].

مراجع

معادلات حاکم

- [1]. Wu, G., Wang, Q., Zhang, K., Wu, X. (2016). CFD simulation of hydrodynamics and heat transfer for scale-up of the jetting fluidized beds. Powder Technology, vol. 304, pp. 120–133.
- [2]. Lu, Y., Zhang, T., Dong, X. (2015). Bed to wall heat transfer in supercritical water fluidized bed: Comparison with the gas-solid fluidized bed, Applied Thermal Engineering, vol. 88, pp. 297-305.
- [3]. Che, Y., Tian, Z., Liu, Z., Zhang, R., Gao, Y., Zou, E., Wang, S., Liu, B. (2015). CFD prediction of scaleup effect on the hydrodynamic behaviors of a pilot-plant fluidized bed reactor and preliminary exploration of its application for non-pelletizing polyethylene process, Powder Technology, vol. 278, pp. 94–110.
- [4]. Shi, D.P., Luo, Z.H., Guo, A.Y. (2010). Numerical simulation of the gas-solid flow in fluidized bed polymerization reactors, I&EC Res. vol. 49 (9), pp. 4070–4079.
- [5]. Patil, D., Smit, J., van Sint Annaland, M., Kuipers, J.A.M. (2006). Wall-to-bed heat transfer in gas-solid bubbling fluidized beds, AIChE J., vol. 52, pp. 57–74.
- [6]. Brandani, S., Zhang, (2006). K. A new model for prediction of the behaviour of fluidized bed, Powder Technology, vol. 163 (1–2), pp. 80–87.
- [7]. Gidaspow, D. (1994). Multiphase Flow and Fluidization, Academic Press, Boston.
- [8]. Zhang, K., Pei, P., Brandani, S., Chen, H.G., Yang, Y.P. (2012). CFD simulation of flow pattern and jet penetration depth in gas-fluidized beds with single and double jets, Chem. Eng. Sci. vol. 68 (1), pp. 108–119.
- [9]. Kuipers, J.A.M., Prins, W., van Swaaij, W.P.M. (1992). Numerical calculation of wall-to-bed heat transfer coefficients in gas-fluidized beds. AIChE J., vol. 38, pp. 1079-1091.

معادله حاکم بر رفتار جریان های چند فازی، لژج، تراکم ناپذیر و غیر دائم برای هر دو سیال به وسیله معادلات ناویر استوکس بیان می شود. بر اساس اصول بقای جرم، اندازه حرکت و انرژی، ترکیبی از یک مدل دو سیالی توسعه یافته توسط براندانی و ژانگ [۶] و معادله انرژی حرارتی پیشنهاد شده توسط پاتیل و همکاران [۵] برای توصیف هیدرودینامیک و انتقال حرارت در بسترهای سیالی گاز-جامد به شکل زیر بیان می شود.

$$\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\varepsilon_i \vec{u}_i) = 0$$

معادله پیوستگی

$$\frac{\partial (\varepsilon_i \rho_i \vec{u}_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varepsilon_i \rho_i \vec{u}_i \vec{u}_i) = -\beta (\vec{u}_i - \vec{u}_j) - \varepsilon_i \nabla p + \varepsilon_i \rho_i \vec{g} - \vec{F}_{ad,i}$$

معادله مومنتوم

$$\frac{\partial (\varepsilon_i \rho_i H_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varepsilon_i \rho_i \vec{u}_i H_i) = \nabla \cdot \varepsilon_i k_i - \alpha (T_i - T_j)$$

معادله انرژی

که در این معادلات $(i=g, p)$ ، ε_i کسر حجمی، t نماد زمان، \vec{u} بردار سرعت، β ضریب درگ بین فازی، ρ چگالی، p فشار، \vec{g} شتاب گرانش، \vec{F}_{ad} نیروی اضافی و H آنتالپی، k هدایت مؤثر، T دما و α ضریب انتقال حرارت بین فازی هستند.