بررسی اثر فاصله و درصد برش بافل­ها بر ضریب انتقال حرارت در مبدل حرارتی پوسته لوله

ثاراله عباسی1، میلاد طهماسبی2\*

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک

2- کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک

\* اراک، صندوق پستی381351177 ، [mita199590@gmail.com](mailto:mita199590@gmail.com)

چکیده

مبدل­های حرارتی پوسته لوله­ای به عنوان یکی از مهم­ترین سیستم­های مورد استفاده در صنایع مختلف، مورد توجه بسیاری از محققان و پژوهشگران قرار دارد. بهبود انتقال حرارت و به طور موازی کاهش افت فشار ناشی از جریان درون مبدل، از موضوعاتی است که پژوهشگران زیادی به آن پرداخته اند. بهبود انتقال حرارت در مبدل­های حرارتی به شیوه­های گوناگونی انجام می­شود که این شیوه­ها در دو دسته شیوه­های فعال و شیوه­های غیرفعال قرار می­گیرد. از جمله شیوه­های غیرفعال می­توان به استفاده از بافل­ها درون این مبدل­ها اشاره نمود. در این روش با افزایش آشفتگی جریان ناشی از حضور بافل­ها، انتقال حرارت افزایش می­یابد. در این مقاله تأثیرات ناشی از افزایش و یا کاهش فاصله بافل­ها در ضرایب انتقال حرارت در سمت پوسته، لوله و ضریب انتقال حرارت کلی و همچنین، افت فشار مورد بررسی قرار گرفته است. مبدل حرارتی مورد بررسی در این مقاله از نوع E بوده و سیال­های جاری در این مبدل روغن داغ و آب دریا می­باشد. در این پژوهش نشان داده شده است با افزایش فاصله بافل­ها، انتقال حرارت و افت فشار کاهش می­یابد

**کلی**د‌واژگ**ان**

مبدل حرارتی، پوسته لوله، انتقال حرارت، افت فشار، بفل، درصد برش

Investigating the effects of the space and cutting percentage of the baffles on the heat transfer coefficient in a shell and tube heat exchanger

Sarallah Abbasi1, Milad Tahmasbi2\*

1- Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran.

2- BSc of Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran

\* P.O.B. 381351177 Arak, Iran, [mita199590@gmail.com](mailto:email@address.ac.ir)

Abstract

Recently, many of authors has done many researches on the shell and tube heat exchangers as one of the most important devices in various industries. Improving the heat transfer and reducing the pressure drop in parallel of that, are the new subjects that researchers have dealt with them. Heat transfer enhancement could be done by two different ways; active and passive way. Using the baffles is an example of the passive ways. In this way, by increasing the turbulence of the flow, the heat transfer increases too. In this paper, the effects of the space of baffles on heat transfer coefficient and pressure drop has been investigated. The type of the heat exchanger as the case study is shell and tube, class E. The working fluids are hot oil and water. As the result it is shown that increment of the baffles space, both of the heat transfer and pressure drop decrease.

Keywords:

Heat exchanger, heat transfer, tube pattern

1. مقدمه

انتقال حرارت به عنوان یکی از مهم­ترین پدیده­های مکانیکی، مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. در همین راستا مبدل­های حرارتی در صنایع مختلف کاربرد فراوانی دارد. در میان انواع مبدل­های حرارتی، مبدل­های پوسته لوله­ای به عنوان یکی از رایج­ترین مبدل­ها، مورد بررسی و تحقیقات بسیاری از پژوهشگران و صنعتگران قرار گرفته است؛ مبدل­های حرارتی پوسته لوله­ای به طور گستره­ای در صنایع شیمیایی، نفتی و تولید قدرت کاربرد دارند. این دسته از مبدل­ها به دلیل هزینه­ی پایین ساخت، ضریب اطمینان بالا و همچنین سازگاری بسیار خوبی که دارند در ذخیره، تبدیل و بهره­برداری انرژی، بسیار مورد توجه قرار گرفته­اند [1]. در این نوع از مبدل­ها، یک سیال در لوله­ها جریان می­یابد و سیال دیگر درون پوسته و از روی لوله­ها عبور می­کند. پژوهش­های مختلفی در جهت بهبود انتقال حرارت و افزایش بازدهی این دسته از مبدل­ها صورت گرفته است. از جمله این روش­ها می­توان به استفاده از ذرات نانو در سیال پایه[2]، مواد تغییر فاز دهنده، استفاده از فین­ها[3], [4]، مولدهای گردابه[5]، استفاده از محیط متخلخل و همچنین استفاده همزمان از نانوسیال و محیط متخلخل[6], [7] اشاره کرد. در هرکدام از روش­های ذکر شده با به کارگیری متد­های فعال و یا غیر فعال، به بهبود انتقال حرارت کمک شده است. در متدهای فعال، به یک منبع قدرت خارجی نیاز است در حالی­که در متدهای غیرفعال این­گونه نیست. یکی از روش­های پرکاربرد و متداول در بهبود انتقال حرارت در مبدل­های حرارتی، استفاده از مواد متخلخل است که با افزایش ضریب رسانش مؤثر سیال، کارکرد حرارتی سیستم را بهبود می­دهد[8]. یو و همکاران[9]، به صورت عددی تاثیرات ناشی از ضریب تخلخل و تراوایی نوعی از محیط متخلخل را در بهبود انتقال حرارت در مبدل­های حرارتی پوسته­ لوله­ای مورد بررسی قرار دادند . آنها در این پژوهش نشان دادند که استفاده از محیط متخلخل تاثیر به سزایی در انتقال حرارت کلی سیستم دارد.

یکی دیگر از روش­های پرکاربرد در افزایش انتقال حرارت در این مبدل­ها، استفاده از بافل است که با افزایش آشفتگی جریان، این کار را انجام می­دهد[10]. بافل­های بخش شده از رایج­ترین نوع بافل­ها هستند که از بخش­های دایره­ای شکل با نام برش بافل تشکیل شده­اند. این نوع از بافل­ها جهت جریان را تغییر می­دهد و سرعت نوسان را در در پوسته از طریق نگهدارنده­های لوله افزایش می­دهند. مرادی و همکاران[11]، بر روی ساختار جدیدی از بافل­ها تحت عنوان لوله­های لبه­دار با بافل­های بخش شده مطالعات عددی انجام دادند. آنها در این پژوهش نشان دادند که عملکرد بافل با لبه­های مثلثی شکل 39 درصد بالاتر از مبدل­های پوسته لوله­ای با بافل­های بخش­شده­ی معمولی هستند. اخیرا انواع دیگری از بافل­ها همانند بافل­های صفحه­ای، مارپیچ، میله­ای مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است[12]–[14].

در این پژوهش، تأثیر فاصله­ی بافل­ها بر ضریب انتقال حرارت و افت فشار در مبدل مورد بررسی قرار می­گیرد. هدف، به بررسی اثرات فاصله در جهت بهبود عملکرد حرارتی می‌باشد. این بررسی توسط نرم افزار تجاری ASPEN صورت گرفته است. در ادامه جزئیات مبدل مورد تحلیل نتایج حاصل از این بررسی­ها ارائه می­گردد.

1. شرح مسئله

2-1- هندسه مسئله

مبدل مورد بررسی یک مبدل نوع E است که سیال گرم آن روغن SAE30 بوده و در سمت پوسته قرار دارد. هدف این مبدل، خنک کردن روغن توسط آب می­باشد. دماها و فشارهای عملیاتی ورودی هر دو سمت پوسته و لوله و مشخصات فیزیکی این مبدل در جداول 1 و 2 آورده شده است.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **جدول1-** مشخصات حرارتی مبدل | | |
| سمت لوله | سمت پوسته |  |
| آب | روغن SAE30 | نام سیال |
| 17.4 | 36.3 | دبی جرمی سیال [kg/s] |
| 32.2 | 65.6 | دمای ورودی [] |
| 37.64 | 60.16 | دمای خروجی [] |
| 500 | 1000 | فشار اولیه[kPa] |
| 2.17 | 1.17 | سرعت[m/s] |

|  |  |
| --- | --- |
| **جدول2-** مشخصات مکانیکی مبدل | |
| سمت پوسته |  |
| AES | نوع مبدل |
| 352 | قطر خارجی پوسته [mm] |
| 336 | قطر داخلی پوسته [mm] |
| 19 | قطر خارجی لوله [mm] |
| 2.4 | ضخامت دیواره لوله [mm] |
| 4.3 | طول لوله [m] |
| 25 | گام لوله [mm] |
| مربعی45 | آرایش لوله­ها |
| 2 | اعداد گذر لوله­ها |
| تک قطاعی | نوع بافل |
| 23 | درصد برش بافل |
| 14 | تعداد بافل |

در شکل1، نمونه­ مدلسازی شده این مبدل در نرم افزار ASPEN که یکی از معتبرترین نرم افزارهای طراحی و تحلیل مبدل است، مشاهده می­شود.

|  |
| --- |
|  |
| (الف) |
|  |
| (ب) |
| شکل 1- شماتیک مبدل در نرم افزارASPEN   الف) نمای روبرو ب) نمای کناری |

1. نتایج

3-1- بررسی تأثیر تغییرات فاصله بافل­ها در ضریب انتقال حرارت

شکل2، تأثیر تغییرات فاصله بافل­ها در ضریب انتقال حرارت را در سمت پوسته و لوله نشان می­دهد. مشاهده می­شود که تغییر در فاصله بافل­ها تأثیر چندانی در ضریب انتقال حرارت در سمت پوسته ندارد اما با افزایش این فاصله­، ضریب انتقال حرارت در سمت لوله کاهش می­یابد.

|  |
| --- |
|  |
| (الف) |
|  |
| (ب) |
| **شکل 2**- تغییرات ضریب انتقال حرارت بر اثر تغییر فاصله بافل­ها الف)سمت لوله ب)سمت پوسته |

تأثیرات تغییرات فاصله بافل­ها در ضریب انتقال حرارت کلی مبدل، در شکل 3 نشان داده شده‌است. مشخص است که با افزایش فاصله بافل­ها، ضریب انتقال حرارت کلی، کاهش می­یابد.

|  |
| --- |
|  |
| (الف) |
| شکل 3- تغییرات ضریب انتقال حرارت بر اثر تغییر فاصله |

شکل­های 2 و 3 بیان می­دارند که با افزایش فاصله بافل­ها، انتقال حرارت کاهش می­یابد که این اتفاقی طبیعی است؛ از آن­جا که هرچه فاصله بافل­ها زیادتر شود، جریان تغییر مسیر کمتری می­دهد، نقاط کوری در مبدل ایجاد می­شود که در این نقاط جریان تغییر مسیر نداده است. در نتیجه این امر، تماس سیال در سمت پوسته با لوله­ها کاهش می­یابد و با کاهش این تماس انتقال حرارت نیز کاهش می­یابد. در ادامه تأثیر این تغییرات در فاصله بافل­ها، در پارامترهای دیگر همچون افت فشار بررسی خواهد‌شد.

**3-2- بررسی تأثیر تغییرات فاصله بافل­ها در افت فشار**

اثر فاصله بفل‌ها بر افت فشار در مبدل‌های حرارتی نشان داده شده‌است. با بررسی شکل 4 دریافته می­شود که افزایش فاصله بافل­ها و تغییرات افت فشار رابطه عکس دارند به طوری­که افزایش فاصله بافل­ها سبب کاهش افت فشار می­شود. افزایش فاصله بافل­ها در یک طول ثابت از مبدل سبب می­شود تا تعداد کمتری بافل در این طول قرار گیرد؛ لذا تغییر مسیرهای ناگهانی جریان در سمت پوسته کم شده و در نتیجه آن َآشفتگی جریان نیز کاهش می­یباد. این کاهش آشفتگی جریان، سبب می­شود تا افت فشار نیز کاهش یابد. این نکته قابل ذکر است که محدوده مجاز برای فاصله بافل­ها، 1 تا 2 برابر قطر پوسته است که با توجه به قطر نمونه­ شبیه­سازی شده که 15.25 اینچ است، این فاصله در محدوده 4 تا 16 اینچ خواهد بود. همچنین فاصله­های کمتر از 8 اینچ مورد بررسی قرار نگرفته است چراکه افت فشار ناشی از این فاصله­ها، عملا کارایی مبدل را از بین می­برد همچنین افزایش تعداد بافل­ها سبب افزایش هزینه ساخت می­شود.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 4- تغییرات افت فشار بر اثر تغییر فاصله در سمت پوسته و لوله |

**3-3- بررسی تأثیر تغییرات درصد برش بافل­ها در انتقال حرارت**

تغییرات ضریب انتقال حرارت بر اثر تغییرات درصد برش بافل­ها در شکل5 نشان داده شده است. در حالت بهینه، درصد برش بافل می­تواند بین 15 تا 45 درصد قطر درونی پوسته متغیر باشد اما بهتر است این درصد در بازه­ی بین 20 تا 35 درصد قطر درونی پوسته باشد. در شکل 6 اثر درصد برش بافل­ها بر ضریب انتقال حرارت کلی نشان داده شده است در بررسی انتقال حرارت هرچه درصد برش بیشتر باشد، تلاطم جریان کمتر می شود و نقطه کور در مبدل افزایش می یابد،که باعث کاهش ضریب انتقال حرارت کلی می شود.

|  |
| --- |
|  |
| (الف) |
|  |
| (ب) |
| **شکل 5**- تغییرات ضریب انتقال حرارت بر اثر تغییرات درصد برش بافل­ها الف)سمت لوله ب)سمت پوسته |

|  |
| --- |
|  |
| **شکل 6-** تغییرات ضریب انتقال حرارت کلی مبدل حرارتی بر اثر تغییرات  درصد برش بافل­ها |

3-4- بررسی تأثیر تغییرات درصد برش بافل­ها در افت فشار

با توجه به شکل7، هرچه درصد برش بافل­ها کمتر باشد، باعث می­شود تا تغییر مسیرهای ناگهانی در سمت پوسته بیشتر باشد؛ این موضوع باعث افزایش افت فشار در سمت پوسته می­شود. به عبارت دیگر می­توان گفت، هرچه درصد برش بافل­ها بشتر باشد، افت فشار کمتری در سمت پوسته به وجود می‌آید. از طرف دیگر می­توان گفت که درصد برش زیر 35، باعث کاهش افت فشار در سمت پوسته می­شود.

|  |
| --- |
|  |
| **شکل 7-** تغییرات افت فشار مبدل بر اثر تغییرات درصد برش بافل­ها |

1. نتیجه گیری

در این پژوهش، تأثیرات تغییرات فاصله بافل­ها بر پارامترهای مختلفی همچون ضریب انتقال حرارت سمت پوسته، لوله و ضریب انتقال حرارت کلی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. بررسی انجام شده در نرم‌افزار تجاری ASPEN صورت گرفته‌است. به طور کلی، از آن­جا که افزایش فاصله بافل­ها سبب کاهش تعداد بافل­ها در یک طول مشخص می­شود، سبب می­شود تا آشفتگی جریان و تغییرات ناگهانی در مسیر جریان کاهش یابد و بر اثر این کاهش آشفتگی، انتقال حرارت نیز کاهش می­یابد. همچنین تأثیرات ناشی از افزایش فاصله بافل­ها در افت فشار داخل مبدل نیز مورد بررسی قرار گرفته‌است. کاهش افت فشار به دلیل کاهش آشفتگی جریان است که ناشی از افزایش تعداد بافل­ها می­باشد. همچنین، با افزایش درصد برش بافل­ها، ضریب انتقال حرارت و افت فشار در حالت کلی کم می­شود.

1. منابع و مراجع

[1] K. J. Bell, “Heat Exchanger Design for the Process Industries,” *J. Heat Transf.*, p. 9.

[2] P. C. Mukesh Kumar and M. Chandrasekar, “CFD analysis on heat and flow characteristics of double helically coiled tube heat exchanger handling MWCNT/water nanofluids,” *Heliyon*, vol. 5, no. 7, p. e02030, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02030.

[3] M. Sheikholeslami, R. Haq, A. Shafee, Z. Li, Y. G. Elaraki, and I. Tlili, “Heat transfer simulation of heat storage unit with nanoparticles and fins through a heat exchanger,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 135, pp. 470–478, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.02.003.

[4] M. Sheikholeslami, R. Haq, A. Shafee, and Z. Li, “Heat transfer behavior of nanoparticle enhanced PCM solidification through an enclosure with V shaped fins,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 130, pp. 1322–1342, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.11.020.

[5] D. Panahi and K. Zamzamian, “Heat transfer enhancement of shell-and-coiled tube heat exchanger utilizing helical wire turbulator,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 115, pp. 607–615, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.12.128.

[6] M. Siavashi, H. R. Talesh Bahrami, and E. Aminian, “Optimization of heat transfer enhancement and pumping power of a heat exchanger tube using nanofluid with gradient and multi-layered porous foams,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 138, pp. 465–474, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.066.

[7] A. Moradi, D. Toghraie, A. H. M. Isfahani, and A. Hosseinian, “An experimental study on MWCNT–water nanofluids flow and heat transfer in double-pipe heat exchanger using porous media,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 137, no. 5, pp. 1797–1807, Sep. 2019, doi: 10.1007/s10973-019-08076-0.

[8] M. Esapour, A. Hamzehnezhad, A. A. Rabienataj Darzi, and M. Jourabian, “Melting and solidification of PCM embedded in porous metal foam in horizontal multi-tube heat storage system,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 171, pp. 398–410, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.05.086.

[9] Y. You, A. Fan, S. Huang, and W. Liu, “Numerical modeling and experimental validation of heat transfer and flow resistance on the shell side of a shell-and-tube heat exchanger with flower baffles,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 55, no. 25, pp. 7561–7569, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.07.058.

[10] M. Mellal, R. Benzeguir, D. Sahel, and H. Ameur, “Hydro-thermal shell-side performance evaluation of a shell and tube heat exchanger under different baffle arrangement and orientation,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 121, pp. 138–149, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.07.011.

[11] A. A. Abbasian Arani and R. Moradi, “Shell and tube heat exchanger optimization using new baffle and tube configuration,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 157, p. 113736, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.113736.

[12] K. Milani Shirvan, M. Mamourian, and J. Abolfazli Esfahani, “Experimental investigation on thermal performance and economic analysis of cosine wave tube structure in a shell and tube heat exchanger,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 175, pp. 86–98, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.08.103.

[13] S. Yang, Y. Chen, J. Wu, and H. Gu, “Performance simulation on unilateral ladder type helical baffle heat exchanger in half cylindrical space,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 150, pp. 134–147, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.07.062.

[14] X. Wang, Y. Liang, Y. Sun, Z. Liu, and W. Liu, “Experimental and numerical investigation on shell-side performance of a double shell-pass rod baffle heat exchanger,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 132, pp. 631–642, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.12.046.