

نقش طراحی در کاهش هزینه‌ها به کمک مبدل حرارتی صفحه‌ای

امید رمضانی ازغندی: موسسه آموزش عالی توس، گروه مهندسی معماری و عمران، مشهد، ایران

محمد علی نوع پرست: شرکت فنی و مهندسی ثنا مبدل توسعه پارس

چکیده:

تبادل گرهای گرمایی صفحه‌ای دسته‌ای از تبادل گرهای هستند که در آن‌ها سیال پس از ورود به تبادل گر، وارد مجرا و کانال‌هایی می‌شوند که باعث تلاطم و آشفته‌گی بیشتر می‌شوند و این باعث افزایش انتقال حرارت می‌گردد. ولی افزایش این انتقال حرارت با افزایش افت فشار که پارامتر نامطلوب است همراه است. با توجه به چین و چروک‌های روی صفحات این میزان متفاوت می‌باشد. در این مقاله برای صفحات M3 و M6 سری الفالاول در یک دبی ثابت و برای دو سیال متفاوت روغن طراحی انجام گرفته و در انتها با توجه به طراحی بهینه به این نتیجه رسیدیم که طراحی مناسب در سطح تبادل حرارتی، تعداد صفحات، افت فشار و هزینه‌ها بسیار موثر خواهد بود.

واژگان کلیدی: تبادل گر صفحه‌ای، سطح تبادل حرارت، افت فشار، چین و چروک صفحات، طراحی تبادل گر

مقدمه:

تبادل گر گرمایی صفحه ای همانطور که از نامشان مشخص است وظیفه تبادل گرما را دارند و متشکل از چندین صفحه کاملاً یکسان و مشابه هستند. این صفحات هر یک توسط ورقه‌های نازک فلزی ساخته شده و توسط پرس تحت فشار قرار گرفته و فرم و شکل گرفته اند. این صفحات سیال‌های گرم و سرد را از یکدیگر جدا می‌کند. صفحات دارای قطعاتی در گوشه‌ها هستند که به نحوی آرایش داده شده‌اند که دو ماده‌ای که باید گرما بین آنها مبادله شود، یکی در میان فضای صفحات، جریان یابند. طراحی و واکش بندنی مناسب، امکان آن را ایجاد می‌کند که مجموعه‌ای از صفحات، توسط پیچ‌ها که از صفحات ابتدا و انتها نیز می‌گذرند، در کنار یکدیگر نگه داشته شوند. واکش‌ها از نشتی به بیرون جلوگیری می‌کنند و سیال‌ها را در صفحات، به شکل مورد نظر، هدایت می‌نمایند [1-2].

ایده اولیه این نوع از تبادل گرما اولین بار توسط یک آلمانی به نام آلبرت دراک در سال 1878 به ثبت رسید و سپس در سال 1890 دو مخترع آلمانی دیگر به نام‌های لانگن و هاندهاسن طرح اولیه را تکمیل نموده و در سال 1931 اولین تبادل گرما گرمایی صفحه‌ای با ضخامت 5 تا 10 میلی‌متر ساخته شد، در سال 1960 تولید این گونه تبادل گرما وارد مرحله جدیدی شد و در سال 1977 نوع لحیم کاری شده به بازار عرضه گردید و نهایتاً در سال 2003 تکنولوژی جدید آلفا فیوژن معرفی شد [3].

نخستین کاربرد و استفاده از تبادل گرما گرمایی صفحه‌ای با توجه به روند افزایشی قوانین لازم برای تولید مواد غذایی، به ویژه محصولات شیر، در اواخر قرن نوزدهم صورت گرفت. در آن سالها آگاهی عمومی نسبت به بیماری‌هایی مانند سل و علت‌های سرایت آنها (شیر خام یا نجوشیده) افزایش یافت. از این رو نخستین تلاش‌ها برای پاستوریزه کردن شیر انجام شد. بنابراین واجب است وسایل و تجهیزات انتقال حرارت به راحتی قابل تمیز کردن باشند. این وسیله پاستوریزه کننده صفحه‌ای نامیده شد که به عنوان یک جداساز مورد استفاده در صنایع لبنی، وظیفه فرآوری حرارتی لبنیات را انجام می‌داد [3-4].

امروزه استفاده از تبادل گرما گرمایی به دلیل نیاز بیشتر به انرژی و تبادل حرارت برای انجام فرایندهای صنعتی به صورت چشم‌گیر در حال افزایش است. تبادل گرما گرمایی صفحه‌ای و قاب (واشردار) یک دسته از این تبادل گرما هستند که امروزه به دلیل

سایز کوچک، قابلیت تعمیرات، ایجاد آشفته‌گی بسیار در سیال‌ها، بیش از سایر تبادلهای گرما مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تبادل گرماهای گرمایی تقریباً پرکاربردترین عضو در فرآیندهای شیمیایی‌اند و می‌توان آنها را در بیشتر واحدهای صنعتی دید. آنها وسایلی هستند که امکان انتقال انرژی گرمایی بین دو یا چند سیال در دماهای مختلف را فراهم می‌کنند [5-7]. این عملیات می‌تواند بین مایع-مایع، گاز-گاز و گاز-مایع انجام شود [8].

مبدل حرارتی صفحه‌ای:

روی صفحات به کمک پرس‌های بزرگ هیدرولیکی، طرح‌ها و نقش‌های مختلفی ایجاد می‌شود (شکل 1) که به طور کلی باعث ایجاد استحکام مکانیکی، افزایش تلاطم، کاهش رسوب گرفتگی، افزایش سطح تماس، بازدهی حرارتی بسیار بالا و صرفه‌جویی در مصرف سوخت، دبی مصرفی کمتر و تنوع در طراحی می‌گردد ولی معروف‌ترین صفحات نوع شورون‌ای است.

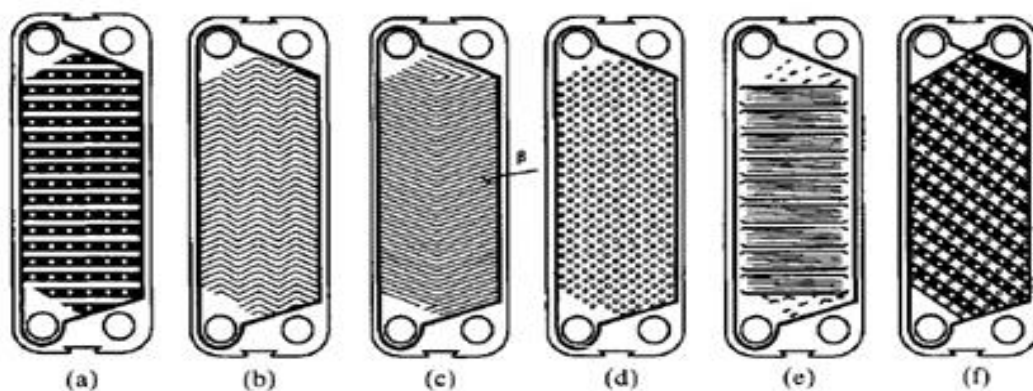
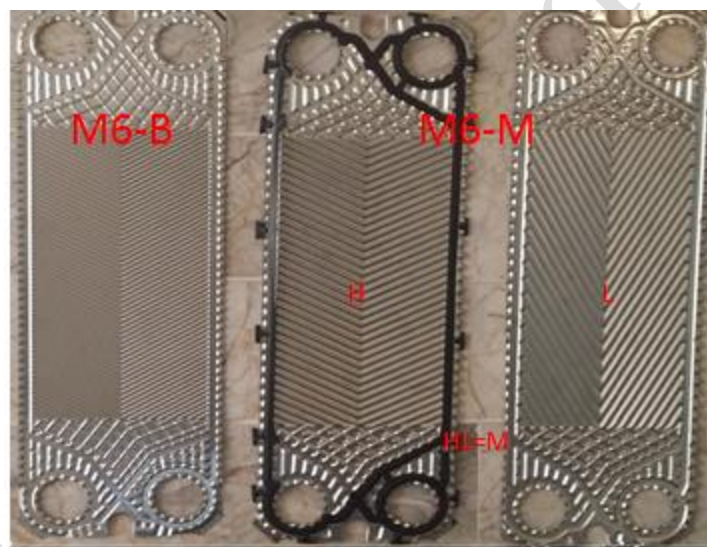


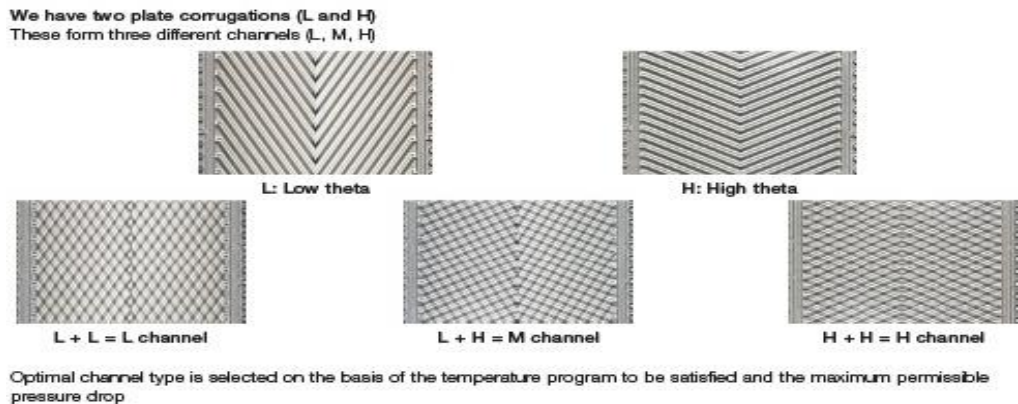
Plate patterns: (a) washboard, (b) zig-zag, (c) chevron or herring bone, (d) protrusions and depressions, (e) washboard with secondary corrugations, and (f) oblique washboard.

شکل 1- انواع چین و چروک بر روی صفحات تبادل گرماهای صفحه‌ای [3,8]

اگر زاویه چین و چروک‌ها (شورون‌ها) زیاد مثلا حدود 60 درجه باشد نوع H، اگر زاویه شورون‌ها کم (حدود 30 درجه) باشد نوع L و گاهی از ترکیب HL یا همان M استفاده میشود، بدین معنا که صفحه اول صفحه با زاویه بزرگ و صفحه بعدی با زاویه کم قرار گرفته است. همچنین عمق آنها نیز کم و زیاد می‌باشد که به نوع B و M معروف هستند (شکل 2). کانال نوع H بیشترین میزان انتقال حرارت را دارد ولی بیشترین افت فشار نیز دارد و در نوع L کمترین افت فشار و کمترین میزان انتقال حرارت می‌باشد (شکل 3). به صفحات H، صفحات سخت نیز می‌گویند. این کانال دارای طول حرارتی بالاتر است (صفحات بلندتر) [3,5].



شکل 2- صفحات سری M6 الفالوآل بر حسب عمق و زاویه



شکل 3- نحوه چیدمان صفحات ترکیبی [3,8]

اغلب جنس صفحات استنلس استیل 316 و 304 و یا تیتانیوم (برای مصارف آب دریا) می باشد (جدول 1) ولی بسته به کار در صنایع مختلف و میزان ضریب انتقال حرارت هدایتی صفحات، از نیکل و سایر مواد نیز استفاده می گردد (جدول 2). با توجه به نحوه جریان یافتن سیال در تبادل گرما می توان از الگوی جریان سری یا موازی استفاده کرد یا از الگوی U شکل یا Z شکل یا ترکیب هر کدام برای ایجاد سطح تماس بیشتر یا اختلاط بهتر. در روش U ورود و خروج در یک سمت صفحه یا فریم قرار دارد در حالی که در روش Z ورود و خروج در دو سمت صفحه یا فریم می باشد (شکل 4).

جدول 1- کاربرد صفحات با توجه به جنس آنها [4 , 8]

موارد استفاده	ضخامت (میلی متر)	کاربرد
استنلس استیل 304	معمولا 0.4 - 0.5	آب به آب تمیز بدون املاح
استنلس استیل 316	معمولا 0.6	آب به آب

	برای کاربرد فشار بالا، ضخامت بیشتر	
نیکل	معمولا 0.6	محلول‌های قلیایی
تیتانیوم	0.5-0.6 کاربرد فشار بالا اگر 0.4 فشار پایین	آب دریا و محلول‌های کلراید
تیتانیوم-پالادیوم	0.5-0.6	اسید سولفوریک
اینکولوی	معمولا 0.6	بخارات آب یا گاز هیدروژن



شکل 4- صفحات به کار رفته در روش U و Z جریان سیال

جدول 2- ضریب هدایت حرارتی بعضی مواد به کاررفته در ساخت تبادله گر [8, 4]

فلزات مورد استفاده در تبادله گر	ضریب انتقال حرارت هدایتی w/m^*k
فولاد زنگ نزن 304	14.9
فولاد زنگ نزن 316	13.4
تیتانیوم	21.9
اینکونل 600	16
گرافیت	5.7
مونل 400	66
نیکل	90
کاپرو نیکل 90/10	52
کاپرو نیکل 70/30	35

طراحی مبدل صفحه ای:

امروزه با توجه به فواید تبادله گر های گرمایی صفحه ای، کارخانجات متفاوتی اقدام ساخت صفحات و تهیه نرم افزار مخصوص به خود کرده اند. از مهم ترین کارخانجات می توان به GEA, APV, FUNKE, ALFA LAVAL, HISAKA, TRANTER و غیره اشاره کرد. یکی از مهم ترین برندها ALFA LAVAL می باشد که دارای چند سری مبدل حرارت صفحه ای مانند سری M یا TS می باشد. در این مقاله از سری M الفالاول استفاده شده است [9-10]. در جداول زیر نقش طراحی در میزان صفحات، افت فشار و همچنین نقش تغییر سیال در شرایط کاری یکسان آمده است.

مجموعه مقالات نهمین کنفرانس مبدل گرمایی، چیلر و برج خنک کن

23 آذر 1396، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

09197556424 - (021) 88671676

ثبت شده در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام 2303 - ISC 96171

www.Mobadel.ir



در جدول 3 بررسی برای سیال روغن 100 (OIL VG ISO 100) - آب و جدول 4 برای سیال روغن 22 (OIL VG ISO 22) - آب در فشار 7.5 بار و با دبی 2000 kg/h می باشد. دمای روغن 80 درجه سانتیگراد وارد و بعد از تماس با آب 10 درجه سانتیگراد به دمای 45 درجه سانتیگراد میرسد. اب در خروجی دارای دمای 25 درجه سانتیگراد می باشد

جدول 3- طراحی صورت گرفته برای سیال روغن 100- آب



	model	Number of plate	Type grouping	V(co) m/s	Dp(p+co) kpa	Area M ²	Symmetrical arr.
1	M6-m	26	1*6h+1*7h 2*6h	0.3374 0.3200	0.06087 0.06694	3.640	-
2		24	3*4L 1*3L+2*4L	0.3374 0.09456	0.08555 0.09456	3.360	-
3		27	1*6ML+1*7ML 1*6MH+1*7MH	0.3374 0.3200	0.06091 0.06755	3.780	-
4		27	1*6MH+1*7MH 1*6ML+1*7ML	0.3374 0.3200	0.06091 0.06755	3.780	-
5	M3	2*71	1*17H+1*18H 1*17H+1*18H	0.3255 0.3086	0.1636 0.1909	2.272	
6		2*72	1*11L+2*12L 9*4L	0.3255 0.3086	0.2399 0.7769	2.0304	2*77
7		2*63	2*10ML+1*11ML 2*10MH+1*11MH	0.3255 0.3086	0.2397 0.2765	2.016	-
8		2-63	2*10MH+1*11MH 2*10ML+1*11ML	0.3255 0.3086	0.2397 0.2765	2.016	
9	M6-B	23	1*11H 1*11H	0.3374 0.3200	0.03621 0.03969	3.450	-
10		29	1*14L 1*14L	0.3374 0.3200	0.03622 0.04006	4.350	-
11		27	1*13MH 1*13ML	0.3374 0.3200	0.03622 0.03984	4.050	-
12		27	1*13ML 1*13MH	0.3374 0.3200	0.03622 0.03984	4.050	-

طراحی
گرفته
سیال
22- آب

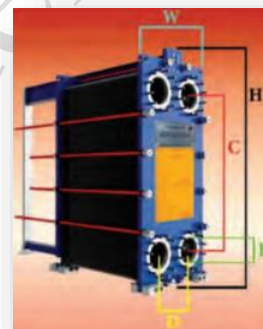
جدول 4-
صورت
برای
روغن

	model	Number plate	Type grouping	V(co) m/s	Dp(p+co)	Area M ²
1	M6-m	17	1*8h 1*8h	0.3374 0.3200	0.03624 0.03969	2.380
2		15	2*2L+1*3L 2*2L+1*3L	0.3374 0.3200	0.08555 0.09456	2.10
3		15	1*3ML+1*4ML 1*3MH+1*4MH	0.3374 0.3200	0.06095 0.06695	2.10
4		15	1*3MH+1*4MH 1*3ML+1*4ML	0.3374 0.3200	0.06095 0.06695	2.10
5	M3	32	2*8H 1+7H+1*8H	0.6509 0.6172	0.6572 0.7552	1.024
6		56	4*7L 1*6L+3*7L	0.6509 0.6172	1.285 1.449	2.016
7		48	3*8ML 1*7MH+2*8MH	0.6509 0.6172	0.9705 1.090	1.536
8		48	3*8MH 1*7ML+2*8ML	0.6509 0.6172	0.9705 1.090	1.536
9	M6-B	9	1*4H 1*4H	0.3374 0.3200	0.03621 0.03969	1.350
10		16	1*8L 1*8L	0.3374 0.3200	0.03625 0.03975	2.40
11		13	1*6MH 1*6ML	0.3374 0.3200	0.03623 0.03966	1.950
12		13	1*6ML 1*6MH	0.3374 0.3200	0.03623 0.03966	1.950

همانطور که در جدول 3 مشاهده می شود انتخاب نوع مبدل m6 (نوع M یا B) بسیار در تعداد صفحات و در نتیجه هزینه نهایی مبدل موثر است. همچنین واضح است که نوع M3 که دارای طول و عرض کوچکتر نسبت به سری M6 می باشد دارای سطح تبادل کمتر نسبت به M6 می باشد. از طرفی چون دبی ثابت فرض شده است، وقتی سایز لوله از 2 به $1\frac{1}{4}$ اینچ کاهش می یابد، سرعت ورودی و خروجی رو به افزایش خواهد بود (جدول 4). از طرفی نحوه بستن نوع L، H، ML یا MH در تعداد صفحات و در نتیجه آن میزان تبادل حرارتی موثر است، تنها نکته این است که اگر سمت سیال گرم نوع MH بسته شده، صفحه مربوط به سیال سرد باید ML باشد و برعکس و این در تعداد صفحات نهایی تفاوتی ایجاد نمی کند به این دلیل که دبی، سایز لوله و چیدمان یکسان می باشد و چیدمان فقط جای سیال گرم و سرد تعویض شده است. در جدول زیر مشخصات M3 و M6 آمده است. علاوه بر این با مقایسه ردیف 1 در دو جدول بالا می توان فهمید که در سیال ها با چگالی بالاتر و یا ویسکوزتر، تعداد صفحات بیشتر نیاز می باشد چرا که میزان افت فشار ایجاد شده در سیال های ویسکوز بیشتر است. ردیف 1 جدول 3 بدین معنا که 6 صفحه اول و 7 صفحه بعد آن نوع H می باشد. همچنین در ردیف 2، نحوه چیدمان به شکل یک گذر 3 صفحه ای و 2 گذر 4 صفحه ای از نوع L در سمت سرد سیال می باشد. از مقایسه ردیف 1 و 2 نیز در جدول می شود فهمید که اگر از صفحات H به جای L استفاده گردد، تعداد صفحات بیشتر می گردد.

جدول 5- مربوط به مشخصات M3 و M6

Model	Horizontal port Distance (mm)	Vertical port Distance (mm)	Connection Diameter (in)	Plate Flow Width (mm)
M3	60	357	1 1/4	100



H (mm)	W (mm)	E (mm)	Connection Design	Material	Thickness (mm)
480	180	61	studded	s.s.316	0.5

Model	Horizontal port Distance (mm)	Vertical port Distance (mm)	Connection Diameter (in)	Plate Flow Width (mm)

M6-m	140	640	2	210
------	-----	-----	---	-----

H (mm)	W (mm)	E (mm)	Connection Design	Material
920	320	140	studded	s.s.316

یکی از مشکلات موجود در طراحی تبادل گرهای گرمایی صفحه‌ای هماهنگ بودن میزان افزایش انتقال حرارت و میزان افت فشار می‌باشد زیرا مساحت سطح عرضی جریان با مساحت سطح صفحات، تر شده به هم وابسته است. وقتی افت فشار قید طراحی ما باشد، باید از صفحات کوچکتر استفاده کرد تا مقطع جریان را برای مبدل تامین کند و برعکس اگر هدف افزایش بار حرارتی است، دیگر مقطع عرضی جریان میزان افت فشار مورد نیاز را تامین نمی‌کند، که این باعث افزایش تعداد صفحات و به موجب این افزایش، افزایش در سطح مورد نیاز می‌گردد که این نیز منجر به افزایش هزینه‌ها می‌گردد [3,5,11]. بهترین ترین کار، استفاده از صفحات ترکیبی یا همان MH-ML می‌باشد.

تشکر و قدردانی:

نویسندگان این مقاله بر خود واجب می‌دانند که از سرکار خانم زارع که در طول این مقاله از کمک و یاری خود دریغ نمودند، تشکر و قدردانی نمایند.

نتیجه گیری:

در مقاله حاضر به بررسی نقش تبادل گر صفحه ای در کاهش میزان انرژی و هزینه ها پرداخته شد. در ابتدا چین و چروک روی صفحات بررسی گردید. در ادامه نحوه جریان یافتن سیال روی صفحات مورد توجه قرار گرفت. در این مقاله از نوع شورون ای و با الگوی U استفاده گردید برای سیال روغن 100 و سیال روغن 22 به عنوان سیال گرم و سیال آب به عنوان سیال سرد 2 طراحی انجام پذیرفت و نقش نحوه چیدمان صفحات با کانال H، L، ML-MH برای سه نوع M3، M6-m و M6-b مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که همیشه کانال H با اینکه انتقال حرارت را افزایش می دهد مناسب نیست چرا که از طرف دیگر میزان افت فشار را نیز افزایش می دهد. همچنین مشخص شد که برای سیال روغن 22 نسبت به روغن 100 به عنوان سیال گرم با یک شرایط کاری یکسان، تعداد صفحات کمتری در سه نوع صفحه سری الفالاول نیاز است و این نیز به کاهش ویسکوزیته آن بر می گردد.

منابع:

- 1- پاکدامن، ه.، کلانتر، و.، 1390. بررسی عددی انتقال حرارت و افت فشار نفت در مبدل حرارتی صفحه ای، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و مهندسی یزد.
- 2- شیرازی، ح.ر.، بدر، ف.، 1392. طراحی مبدل حرارتی صفحه ای مقایسه روابط تئوری با نرم افزار های کاربردی، پنجمین همایش مبدل های گرمایی. تهران.
- 3- فرشیدیان فر، ار.، فرشیدیان فر، ا.، 1395. بهینه سازی مصرف انرژی، انتشارات پرتو نگار توس. مشهد.
- 4- فرشیدیان فر، ار.، فرشیدیان فر، ار.، 1391. مبدل حرارتی صفحه‌های و فن آوری نوین صنعتی، بیست و یکمین همایش بین المللی مهندسی مکانیک ایران. شماره 95.



5-رمضانی، ا.، مغربی، م.ج.، تیمورتاش، ع.ر.، 1395. مقایسه طراحی مبدل حرارتی صفحه ای به کمک نرم افزار Cas200 و Aspen HTFS ، نشریه مبدل‌های گرمایی. تهران. صفحه 25.

6- فرشیدیان فر، ار.، فرشیدیان فر، ا.، 1388. صرفه جویی انرژی در تولید آب گرم بهداشتی با استفاده از مبدل حرارتی صفحه ای، اولین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع. تهران.

7-مرادی، س.، اقتداری، ک.، خلیلی، ت.، 1393. بهینه سازی مصرف انرژی در واحدهای نمک زدایی با استفاده از مبدل حرارتی، ماهنامه علمی ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره 118.

8- Kakac, S., Liu, H., 2002. Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design, second edition, CRC Press LLC, Florida, USA.

9-Mahian, O., Kianifar, A., Kleinstreuer, C., et al., 2013. A review of entropy generation in nanofluid flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 65, 514-532.

10-Salman, T.V., Shakeeb, M.A., Harshad, V.S., et al., 2016. Performance analysis of corrugated plate heat exchanger with water as working fluid, International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume 5, Issue 4, 56-62.

11-Shahanwajk, T., Nitin, P., Santosh, B., et al., 2015. Experimental Investigation of performabce of plate heat exchanger for water as working fluid, International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume 4, Issue 3, 372-380.



مجموعه مقالات نهمین کنفرانس مبدل گرمایی، چیلر و برج خنک کن

23 آذر 1396، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

09197556424 - (021) 88671676

ثبت شده در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام 2303 - ISC 96171

www.Mobadel.ir



www.Mobadel.ir

